

Make: Дроны с нуля



Собери и настрой свой квадрокоптер

Терри Килби, Белинда Килби

Make: Getting Started with Drones

Terry Kilby and Belinda Kilby



Терри Килби
Белинда Килби

Дроны с нуля

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2016

УДК 629.735.4+379.826
ББК 39.55я92
К39

Килби, Т.

К39 Дроны с нуля: Пер. с англ. / Т. Килби, Б. Килби. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 192 с.: ил.

ISBN 978-5-9775-3729-2

Рассказано, как построить, запустить в небо свой первый дрон, беспилотный летательный аппарат, и посмотреть на окружающий мир с новой точки обзора. Приведен набор инструкций по изготовлению автономного квадрокоптера Little Dipper класса 300 мм, рассказано о принципах его работы и способах решения различных инженерных задач, связанных с его постройкой. Предложены альтернативные варианты опций и компонентов на случай, если читатель захочет сделать собственный вариант квадрокоптера или октокоптера. По ходу изложения кратко даны необходимые и достаточные сведения из аэродинамики, радиотелеметрии, электроники, программирования, чтения карт, устройства двигателей, видеопередатчиков, 3D-моделирования. Обсуждаются: выбор компонентов, установка датчиков и контроллеров, настройка поведения в полете и другие вопросы.

Для читателей, интересующихся электроникой, робототехникой, авиамоделизмом

УДК 629.735.4+379.826
ББК 39.55я92

ISBN 978-1-457-18330-0 (англ.)
ISBN 978-5-9775-3729-2 (рус.)

Оглавление

Об авторах

Терри Килби (Terry Kilby) за минувшие годы испытал себя в разных ролях. Не все из того, чем он занимался, связано с техникой. Фотограф, автор, дизайнер, разработчик программ, предприниматель — это его профессии на разных этапах карьеры. В 2010 году он заинтересовался мультироторными летательными аппаратами, как способом делать новые интересные фотографии. Он сразу же погрузился в мир беспилотной авиации, потому что нашел применение широкому перечню своих прежних навыков.

Белинда Килби (Belinda Kilby) со школьных лет обладает навыками изобразительного искусства, которые помогли ей победить на многих школьных выставках и помогли поступить в художественное училище Мэриленда. Став молодой мамой, она перешла в Университет Сэлсбери и восточное отделение Мэрилендского университета, чтобы получить образование в области преподавания искусства. Другой излюбленной областью знаний Белинды была история искусства. Ей повезло увидеть много замечательных работ во время образовательных поездок. Путешествия и движение стали символическими темами в ее работе. В течение 10 лет Белинда преподавала в государственной общественной школе города Балтимор. Регулярное общение с группами слушателей подготовило ее к изложению информации о преимуществах изготовления и безопасной эксплуатации малых БПЛА. С ее опытом преподавания было вполне естественным написать учебный план по воздушной робототехнике.

Предисловие

Мы — Белинда и Терри Килби, семейная команда энтузиастов беспилотных полетов, занимающихся аэрофотосъемкой, обучением новичков и изготовлением дронов. Объединив наши судьбы, мы также соединили свои усилия и стремления в технике и искусстве. Начиная с 2010 года, мы разрабатываем и строим в нашей компании Elevated Element небольшие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для художественной и прикладной аэрофотосъемки. Будучи первыми энтузиастами, мы фактически стали проповедниками технологии БПЛА в средствах массовой информации нашего региона. Мы непрерывно следим за состоянием дел в области аппаратного и программного обеспечения и за новостями в мире дронов, поэтому можем представить разработчиков и пользователей дронов в наилучшем свете.

Первая книга в своем роде

Осенью 2013 года мы издали книгу "Drone Art: Baltimore" — первый фотоальбом, полностью снятый при помощи небольших самодельных беспилотных аппаратов. Введение к альбому описывает, как мы начинали и совершенствовали свои навыки и оборудование. Снимки, размещенные в хронологическом порядке, показывают рост качества работ по мере понимания того, как правильно строить дроны, управлять ими и делать с их помощью фотографии. Презентация книги, изданной в Бюро рекламы и искусств Балтимора, состоялась на выставке во Всемирном торговом центре Балтимора, на смотровой площадке под названием "Вершина мира". Это место оказалось идеальным, поскольку вид, открывающийся из окна 27-го этажа, был очень похож на то, что мы видим во время работы: мир с высоты птичьего полета.

Назначение книги

Мы задались целью поделиться знаниями в области беспилотных летательных аппаратов на примере изготовления автономного квадрокоптера Little Dipper класса 300[1]. Читая инструкции и следуя указаниям в данной книге, вы узнаете, как устроены квадрокоптеры и как решаются некоторые инженерные проблемы, связанные с квадрокоптерами. Там где это возможно, мы будем предлагать альтернативные варианты конструкции и компоненты для выбора в соответствии с вашими предпочтениями. Общие принципы не зависят от того, строите вы квадрокоптер или октокоптер.

Little Dipper — это открытый проект, файлы конструкции можно скачать по адресу

http://gettingstartedwithdrones.com/little-dipper-build/

или приобрести готовый набор с полным комплектом деталей на сайте **www.MakerShed.com**.

Не бойтесь неудач. Все совершают ошибки. Важно, чтобы вы продолжали пробовать, делать, творить. Основой авиатехники является практический опыт, приобретенный в реальном мире ценой множества проб и ошибок. Малейшее различие в определении веса или скорости может означать успех или провал.

Как пользоваться этой книгой

Каждая глава книги содержит изложение определенной части разнообразных знаний, относящихся к технологии БПЛА. Одна глава описывает тонкости конструкции разных типов несущих рам, тогда как другая рассказывает, каким образом глобальная навигационная система (Global Positioning System, GPS) помогает управлять полетом. Мы постарались охватить так много тем, насколько это оказалось возможным, однако имейте в виду, что это руководство для начинающих, а не всеобъемлющая энциклопе-

---

[1] Расстояние между осями двигателей по диагонали в миллиметрах. — *Прим. пер.*

дия БПЛА. Если вы новичок, то найдете в этой книге много пищи для размышлений. Если вы уже знакомы с дронами, мы уверены, что вы извлечете ценные изюминки для своей базы знаний.

После прочтения *главы 1* вы должны обратить внимание на важный момент: большинство глав разбиты на разделы теории и базовых понятий, за которыми следуют пошаговые инструкции практического примера. Независимо от того, повторяете ли вы конструкцию дрона, предложенную в книге, теоретическая часть каждой главы в основном применима к любому типу дронов — от небольшого квадрокоптера класса 250 до огромного октокоптера класса 1000. Если вы не собираетесь повторять процесс постройки нашего учебного коптера, смело пропускайте инструкции по сборке и старайтесь усвоить как можно больше теории.

Мы полагаем, что извлечь пользу из каждой главы может любой читатель, будь вы опытный пилот квадрокоптера или только открыли для себя это хобби. Мы рекомендуем прочесть все главы. Если вы решили воспользоваться инструкциями по изготовлению дрона, то можете сначала прочесть всю теорию, а затем вернуться к пошаговой сборке. Глубокое понимание технологии поможет вам, когда придет время строить свой летательный аппарат.

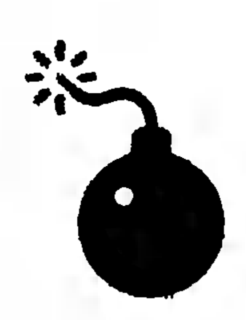
Обозначения, принятые в книге

В книге приняты следующие типографские обозначения.

Курсивом обозначены новые термины.



Этот символ обозначает примечания, советы или пожелания.



Этот символ обозначает предупреждение или предостережение.

Как связаться с нами

Чтобы связаться с авторами книги, обратитесь в издательство, выпустившее англоязычный вариант книги, по адресу:

1160 Battery Street East, Suite 125
San Francisco, CA 94111
877-306-6253 (звонок из США и Канады)
707-639-1355 (международные звонки)

У авторов есть веб-сайт этой книги, где они размещают перечень обнаруженных ошибок, примеры и различную дополнительную информацию. Адрес сайта:

http://bit.ly/gs_w_drones

С комментариями и техническими вопросами по поводу англоязычного издания этой книги обращайтесь по адресу:

bookquestions@oreilly.com

Предисловие к русскому изданию

Уважаемый читатель!

Мы выбрали для издания на русском языке книгу, которая на наш взгляд оптимально сочетает простоту и доступность изложения с полезностью тщательно подобранной информации.

Авторы книги — семейная пара, Терри и Белинда Килби, проживающие в городе Балтимор, США. Как и вы, они в свое время начинали с нуля. Пробовали, ошибались, учились и двигались дальше. Сейчас они стали специалистами по художественной и коммерческой аэрофотосъемке, издают альбомы своих работ и ведут курсы для новичков, а также выпускают наборы для изготовления небольших квадрокоптеров. В книге они приводят пример самостоятельного изготовления квадрокоптера с диагональю 300 мм и предлагают бесплатные чертежи.

Некоторые разделы книги могут показаться искушенному российскому читателю чрезмерно детальными и упрощенными. Но давайте не будем забывать, что с каждым годом в ряды любителей квадрокоптеров приходит все больше людей, совершенно далеких от познаний в авиатехнике и электронике. Они могут испытать чувство беспомощности новичка, впервые столкнувшись с массивом специфических знаний. Авторы книги сами прошли через это и теперь неторопливо, с заботой и уважением к читателю разъясняют каждый шаг и предостерегают от возможных ошибок.

При подготовке перевода мы постарались адаптировать его к российским реалиям и снабдили соответствующими ссылками и комментариями. Обратите внимание, с каким уважением авторы относятся к вопросам безопасности полетов и соблюдения административных норм. Когда перевод готовился к изданию, Госу-

дарственная Дума РФ приняла законопроект об обязательной регистрации беспилотных летательных аппаратов тяжелее 250 г. Настало время и российским пилотам вести себя более аккуратно и ответственно.

Вам предстоит пройти большой и очень увлекательный путь в обретении навыков изготовления, настройки и управления беспилотными летательными аппаратами. Постепенно вы поймете, что привлекает вас больше: фото- или видеосъемка видов природы, коммерческая видеосъемка мероприятий, спортивные гонки коптеров, акробатический пилотаж или просто полеты для развлечения после работы. Сейчас вы делаете первые шаги на этом пути. Мы искренне надеемся, что эта книга будет вам полезна, и желаем успеха!

Издательство "БХВ-Петербург",
переводчик и научный редактор издания
Валерий Яценков

1/Введение

Определения

Если вы не живете в горной пещере, то наверняка заметили, что слово "дрон" часто встречается в новостях. Во множестве заголовков слово "дрон" означает самые различные летательные аппараты — от маленьких радиоуправляемых игрушек до автономных летающих роботов, которыми являются полноразмерные и оснащенные вооружением боевые беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Так получается, потому что разные источники вкладывают в слово "дрон" различное значение. Где же пролегает граница понятий и что определяет дрон именно как дрон? Давайте определим базовые термины.

Словарь издательства "Merriam-Webster" определяет термин "дрон" (drone) так:

"Беспилотный летательный аппарат или воздушное судно, управляемое дистанционно либо при помощи бортового компьютера".

Это определение допускает излишне обширное смысловое толкование, которое приводит к чрезмерным обобщениям или дезинформации, когда средства массовой информации ведут речь о конкретном БПЛА. Давайте говорить более строго. Терри утверждает, что ключевое различие между радиоуправляемыми летательными аппаратами и дронами заключается в наличии у последних систем GPS и автопилота. Как только летательный аппарат получает возможность управлять самим собой, хотя бы даже просто удерживать статическую позицию, он становится дроном в глазах Терри. В нашей книге мы будем использовать следующие определения.

Дрон — беспилотный летательный аппарат, управляемый автономно при помощи GPS.

Дистанционно управляемый летательный аппарат (Remotely Piloted Aicraft, RPA) — летательный аппарат, управляемый находящимся на земле пилотом при помощи радиопередатчика или иного электронного оборудования.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА — Unmanned Aicraft Vehicle, UAV) — летательный аппарат, который может управляться пилотом дистанционно или совершать автономный полет под управлением бортового компьютера и навигационной системы (GPS).

Системы малой авионики (Small Unmanned Aerial Systems, sUAS) — все системы и процессы, реализованные в беспилотных технологиях.

Нравится нам или нет, но слово "дрон" и дальше будет широко употребляться в качестве модного термина. Мы постараемся реабилитировать это слово и показать позитивный эффект от использования малых БПЛА. Прежде всего, следует отметить, что в масс-медиа развернулась безумная дрономания. Поскольку на этом фоне Федеральное Авиационное Агентство США пытается установить всесторонние строгие правила использования малых коммерческих БПЛА, мы все должны сделать наши воздушные похождения настолько ответственными и безопасными, насколько это возможно.

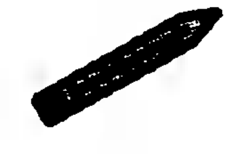
Для кого эта книга?

Эта книга является набором инструкций, как построить автономный квадрокоптер, с дополнительными советами по ходу изложения. Понимание базовых основ электроники и автоматики, несомненно, окажется полезным в изучении "летающих роботов", которыми являются квадрокоптеры. Она также поможет вам поближе познакомиться с основными инструментами и оборудованием, включая паяльное, чтобы в будущем достичь успеха в разработке собственных малых БПЛА.

Если вы самодельщик, получающий удовольствие от процесса решения проблем путем проб и ошибок при изготовлении чего-либо, вам точно понравятся коптеры. Построить собственного летающего робота и наблюдать пейзажи с абсолютно новой точки зрения — отличный способ потратить время и усилия.

Сообщество пользователей дронов

Иногда лучший способ решить проблему — это задать правильный вопрос окружающим. Сообщество людей, имеющих одинаковые увлечения, является бесценным ресурсом, помогающим распознать проблему и найти решение. Онлайн-форумы являются прекрасным местом, где можно посмотреть, как другие люди решают похожие проблемы. Любимый сайт Терри — **www.multirotorforums.com**. Люди на этом форуме невероятно щедро делятся своим опытом создания малых БПЛА и полетов на них[1]. Также это может быть организованная группа энтузиастов БПЛА в ближайшем к вам авиамодельном клубе, любой из которых, несомненно, будет рад видеть новое лицо в своей компании. Попробуйте поиск на сайте **www.meetup.com** по слову "drone" (опять это слово!), чтобы найти подходящую группу пользователей. Еще одно место для поиска единомышленников: Академия авиамоделистов (Academy of Model Aeronautics, AMA) **www.modelaircraft.org**. AMA — это крупнейшая в мире ассоциация авиамоделистов, основанная в 1936 году. У нас есть группы энтузиастов в Балтиморе и Вашингтоне, которые внесли огромный вклад в популяризацию БПЛА в нашем регионе. Мы искренне благодарны каждому, кто поддержал наши старания.



У AMA есть великолепный документ в формате PDF, лучшее практическое наставление по ответственным и безопасным полетам:

http://www.modelaircraft.org/files/report_on_revised-550-560-oct-8-2012.pdf

---

[1] Популярен и полезен также международный форум моделистов **www.rcgroups.com**, а в русскоязычном сообществе форум сайта **www.rcdesign.com**. — *Прим. пер.*

Обзорная история автономных полетов

Мы считаем, что наибольший вклад в появление дронов внесли такие технологические явления, как радиоуправляемые модели самолетов, интегральные микросхемы, GPS, Интернет и смартфоны. Давайте посмотрим, как это было.

Радиоуправляемые модели самолетов

В 1937 году Росс Халл (Ross Hull) и Клинтон ДеСото (Clinton DeSoto), служащие из Национальной ассоциации любительской радиосвязи США (American Radio Relay League, ARRL), впервые публично продемонстрировали радиоуправляемый полет. Летом и осенью 1937 года они разработали и построили планеры с 13-футовым[1] размахом крыльев, совершив более сотни успешных радиоуправляемых полетов в Хартфорде, штат Коннектикут. В этот период Халл разработал конструкцию самодельной аппаратуры для радиоуправления. Он сумел увеличить эффективность передатчика и был первым, кто придумал самый легкий одноламповый бортовой приемник для авиамодели. Братья-близнецы Вальтер (Walter) и Вильям Гуд (William Good) заняли первое место в 1940 и 1947 годах в Национальном чемпионате США по авиамоделизму. Их легендарная модель самолета, известная как Guff, ныне находится в Национальном музее авиации и космонавтики Смитсоновского института (см. рис. 1 на цв. вклейке).

Пришествие микросхем

Летом 1958 года Джек Килби (Jack Kilby) — новый сотрудник компании Texas Instruments и в то же время молодой изобретатель — совершил революцию в электронной промышленности, представив свою интегральную схему. Этот предшественник микросхем состоял из транзистора и нескольких других компонентов, размещенных на кусочке германия размерами 11×1,6 мм.

---

[1] 4-метровым. — *Ред.*

Зная, что множество электронных компонентов, таких, как резисторы и конденсаторы, можно изготовить из того же материала, что и транзисторы, Килби пришел к выводу, что все они могут быть изготовлены в виде законченной схемы. Большинство электронных устройств, которыми мы сейчас пользуемся, были бы невозможны без простенькой микросхемы Килби. Она превратила огромные компьютеры в сегодняшние микроконтроллеры.

Технология дронов

В определенный момент авиамодельная аппаратура достигла предела возможностей, обусловленного конструкцией оборудования, свойствами радиосигнала и кодоимпульсной передачи информации. Для выхода за эти рамки потребовались новые решения в области менее очевидных технологий, позволяющие реализовать интеллектуальное управление.

Запуск GPS

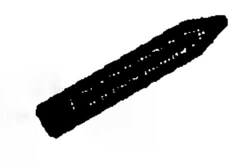
Официальный сайт **www.gps.gov** определяет GPS так:

"Система глобального позиционирования (Global Positioning System, GPS) — это принадлежащая США система, которая предоставляет потребителям услугу навигации, позиционирования и определения времени. Эта система состоит из трех сегментов: космический сегмент, сегмент управления и сегмент потребителей. ВВС США разрабатывают, обслуживают и контролируют космический сегмент и сегмент управления".

36 спутников системы непрерывно передают потребителям на земле поток информации, состоящий из географических данных и кода времени. Любое устройство, оснащенное GPS-приемником, может использовать данные от четырех спутников для вычисления своего положения в пространстве относительно этих спутников[1]. Наличие прямой видимости между приемником и спутниками является ключевым моментом, и точность определе-

[1] Современные миниатюрные приемники, применяемые в авиамоделизме, могут обрабатывать сигналы от семи спутников одновременно. — *Прим. пер.*

ния координат существенно повышается, если доступных спутников больше четырех. В связи с потребностью в прямой видимости спутников, в помещении обычно трудно достичь надежного захвата координат. Мы обсудим, как это влияет на полеты дронов в помещении, в *главе 5*.



За более детальной информацией о работе GPS обратитесь на сайт **www.gps.com** и к его разделам: **http://www.gps.gov/multimedia/poster/** и **http://www.gps.gov/applications/**.

Интернет

Бум персональных гражданских дронов был бы невозможен без Интернета. Онлайн-магазины, социальные сети и форумы позволили людям мгновенно общаться, учиться и делать покупки по всему миру. Терри придумал конструкцию своего первого квадрокоптера, изучая разработки других людей и задавая вопросы онлайн. Чем интеллектуальнее становятся дроны, тем заметнее роль Интернета в их будущем применении.

Смартфон

Поскольку размеры процессоров и сенсоров невероятно уменьшились, было лишь вопросом времени придумать, как использовать смартфон внутри авиамодели[1]. Когда вы перемещаете или поворачиваете смартфон, его интерфейс меняет ориентацию на экране. Эти же датчики положения могут быть использованы для управления небольшим дроном. Будучи инженером-разработчиком мобильных приложений, Терри знаком с возможностями системы определения ориентации смартфонов. Сейчас он работает над несколькими приложениями для картографии с применением дронов.

[1] Весьма спорная идея, если учесть отсутствие подходящих аппаратных интерфейсов для взаимодействия между смартфоном и периферийным оборудованием модели, а также вес и стоимость смартфонов. — *Прим. пер.*

Полетный контроллер с функцией автопилота

Все упомянутые сущности — GPS, Интернет и смартфон — способствовали появлению полетного контроллера, по сути, мозга квадрокоптера. Массовое гражданское применение автопилотов на любительских мультикоптерах началось после 2000 года. Первые устройства с функцией GPS выпускались немецкой фирмой MikroKopter, затем несколько китайских предприятий начали выпускать копии. Приблизительно в это же время стартовали несколько открытых проектов, такие, как MultiWii (**http://www.multiwii.com**), Ardupilot (**http://ardupilot.com**) и OpenPilot (**https://www.openpilot.org**). Название проекта MultiWii имеет интересное происхождение: первые устройства были изготовлены из сенсоров, извлеченных из игровых контроллеров Nintendo Wii. Ardupilot, как вы можете справедливо предположить, получил такое название потому, что изначально базировался на Arduino.

К сегодняшнему дню любительские автопилоты прошли большой путь, и многие из них обладают продвинутыми функциями, такими как *автономный полет*, *Return to Home* (RTH, возврат к точке взлета) и *Follow Me* (FM, следование за оператором). Многие из подобных опций были доступны только в лучших дорогих моделях всего несколько лет назад. Это наглядно показывает, как быстро развиваются технологии.

Датчики, необходимые для работы автопилота

Следующие датчики, не будучи принципиально новыми, стали достаточно миниатюрными и легкими для использования в автопилотах малых БПЛА:

- *магнитометр* — цифровой компас;
- *гироскоп* — датчик угловых ускорений;
- *акселерометр* — датчик гравитации (линейных ускорений);
- *барометр* — датчик атмосферного давления, измеряет высоту объекта.

Вместе эти датчики образуют инерциальную измерительную систему (ИИС — Inertial Measurement Unit, IMU).

Принципы полета

Механика полета состоит из нескольких простых правил, находящихся в сложном взаимодействии. Чтобы хорошо это понять, необходимо потратить время и освежить в памяти законы физики Ньютона.

Когда мы говорим о таком понятии, как *сила*, мы подразумеваем простейшее толкающее или тянущее воздействие. Если эти воздействия сбалансированы — сила, действующая в одном направлении равна силе, действующей в противоположном направлении — объект неподвижен. Если силы не сбалансированы, объект ускоряется в направлении большей силы.

Вес, или гравитация

Вес — это сила, действующая на объект по причине наличия *гравитации*. Эту силу иногда так же называют гравитацией (тяготением). Объект, который летает или завис в воздухе, находится в состоянии непрерывного баланса сил, преодолевая гравитацию. Гравитация неумолима — даже краткосрочная потеря подъемной силы приводит к моментальному падению летательного аппарата. Интересное замечание, которое мы будем упоминать на протяжении всей книги: поскольку вес распределен по всему телу летательного аппарата, пространственное положение особой точки — центра тяжести устройства — существенно влияет на поведение в полете.

Подъемная сила

Подъемная сила, противодействующая весу, — это аэродинамическая сила, которая удерживает летательный аппарат в воздухе (рис. 1.1). В случае с крылатыми аппаратами, подъемная сила возникает при обтекании воздухом объемного профиля крыла. Воздух, обтекающий верхнюю часть крыла, движется быстрее, более разрежен, отчего над крылом образуется зона низкого давления. Под крылом воздух движется медленнее, образуя зону высокого давления. Благодаря разнице давлений возникает подъемная сила, направленная снизу вверх и удерживающая самолет в

воздухе[1]. Для висения или горизонтального полета подъемная сила должна быть равна весу; для набора высоты подъемная сила должна превышать вес.

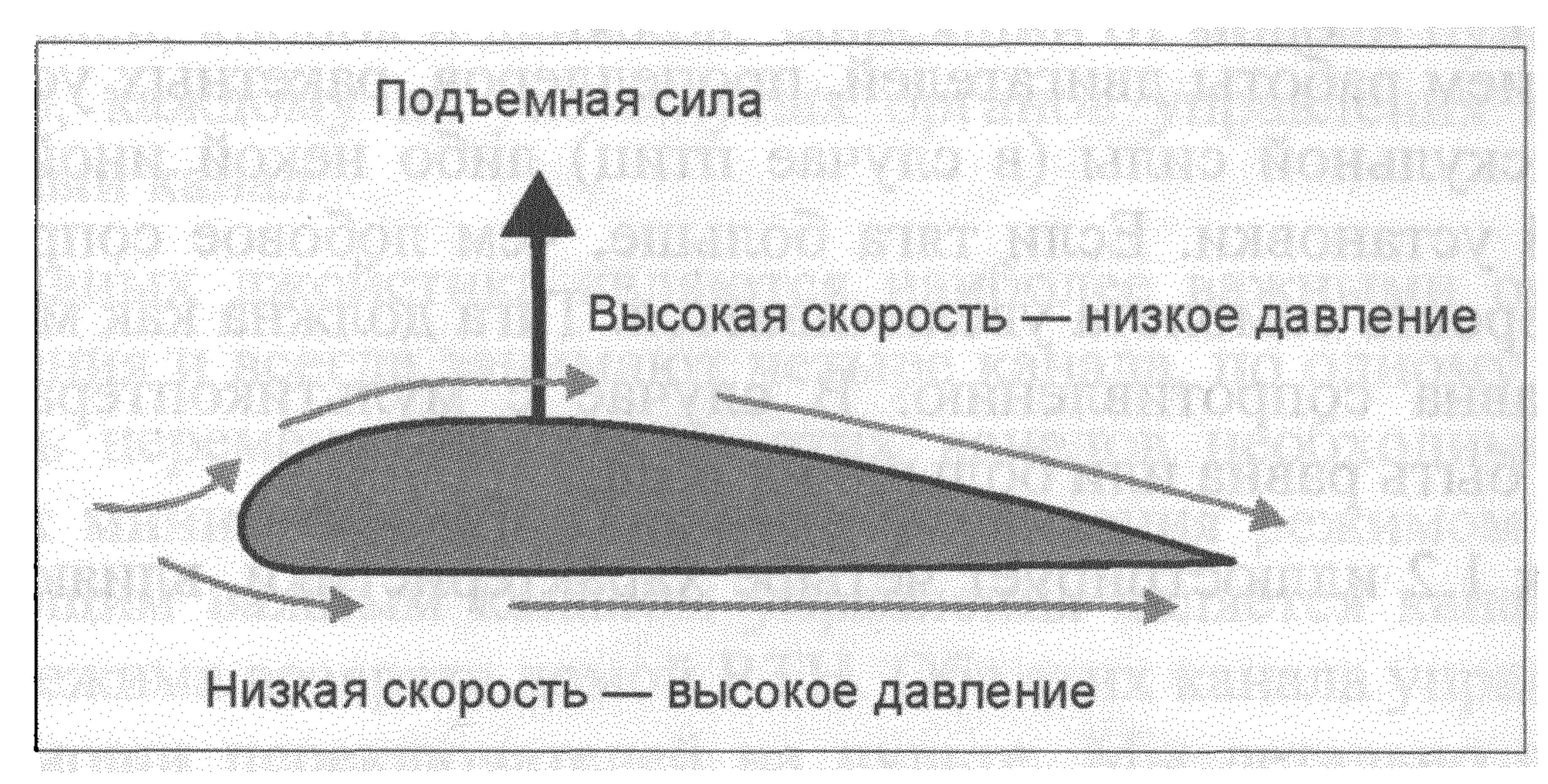


Рис. 1.1. Подъемная сила, возникающая при движении крыла в воздухе

Лобовое сопротивление

Приходилось ли вам высовывать руку в открытое окно быстро едущего автомобиля в погожий день? Сила, которая толкала вашу руку назад, — хороший пример *лобового сопротивления*. Любой объект, движущийся с произвольной скоростью, будет испытывать некоторое лобовое сопротивление, увеличивающееся с ростом скорости. Вот почему самолеты, локомотивы, спортивные автомобили имеют обтекаемую форму — это позволяет воздуху свободнее обтекать движущийся объект, уменьшая лобовое сопротивление и повышая эффективность. Лобовое сопротивление — это причина того, почему реактивные самолеты убирают шасси сразу после взлета, и это потенциально важно для квадрокоптеров/дронов[2].

---

[1] Аналогичный эффект возникает при движении лопасти пропеллера, что создает его тягу и удерживает в воздухе квадрокоптер, но у пропеллера есть еще и угловое отклонение лопасти — так называемый шаг винта, повышающий тягу. — *Прим. пер.*

[2] Здесь авторы недостаточно обоснованно переносят понятие на квадрокоптеры. Линейная скорость квадрокоптеров обычно настолько мала, что их лобовое сопротивление не имеет значения. Быстро движутся лишь спортивные гоночные коптеры. Применительно к обычным мультикоптерам обтекаемость форм является, скорее, элементом художественного дизайна. — *Прим. пер.*

Тяга

С точки зрения принципов полета, *тяга* — это механическая сила, которая перемещает самолет в воздухе. Движение может быть следствием работы двигателей, пропеллеров, ракетных ускорителей, мускульной силы (в случае птиц) либо некой иной двигательной установки. Если тяга больше, чем лобовое сопротивление, скорость самолета увеличивается. Тяга должна как минимум быть равна сопротивлению. В случае с мультикоптерами она должна быть равна или больше их веса.

Рисунок 1.2 иллюстрирует четыре характеристики, влияющие на полет.



Рис. 1.2. Силы, возникающие в полете, на примере самолета

Управление полетом: назначение рукояток пульта управления

Большинство беспилотных летательных аппаратов управляется при помощи шестиканального (минимум) пульта дистанционного управления, как это было принято для моделей самолетов на про-

тяжении многих лет. Эти пульты оснащены двумя основными рукоятками (джойстиками), которые могут перемещаться вверх-вниз и вправо-влево. Также вы увидите на пульте набор переключателей, кнопок и движков, зависящий от модели пульта. Как правило, каждому из упомянутых органов управления выделен отдельный канал.

Два главных джойстика являются наиболее важными органами управления и всегда занимают четыре канала, по одному на каждую ось перемещения. Кроме этих каналов необходимо иметь еще как минимум один канал для управления режимом полета. Следующим важным каналом управления является канал включения режима возврата домой RTH. Оба этих канала управляются при помощи переключателей на пульте. Мы детально обсудим функцию RTH и режимы полета далее в книге, а сейчас давайте рассмотрим функции двух основных рукояток пульта (рис. 1.3 и 1.4).

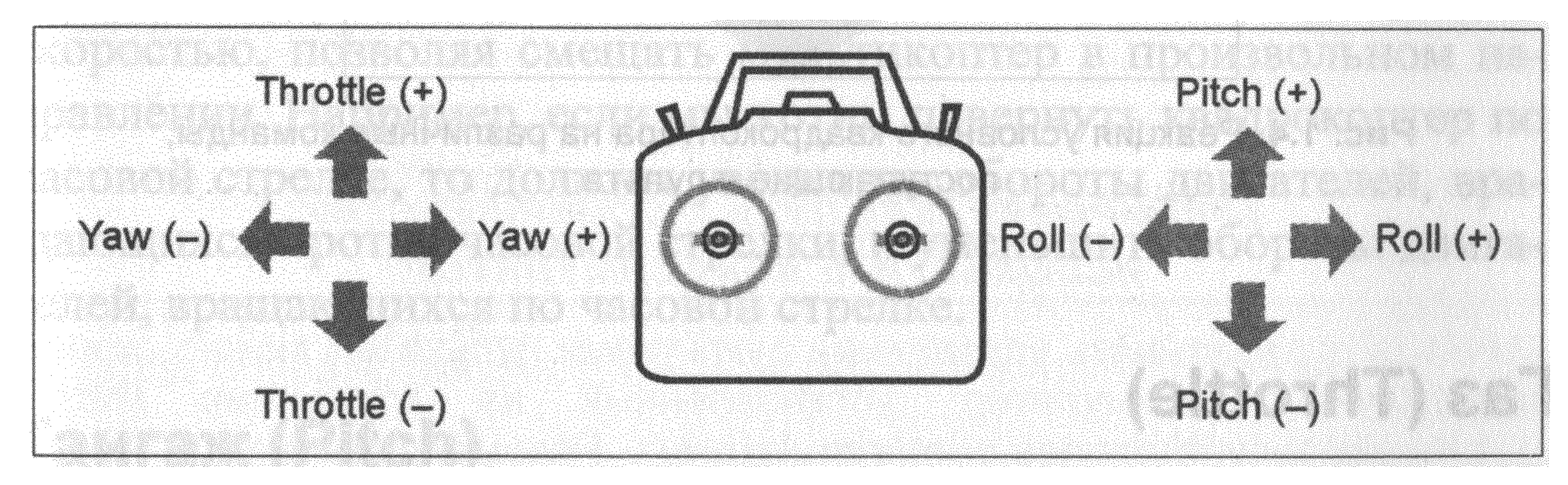


Рис. 1.3. Команды пульта радиоуправления в режиме Mode 2



Расположение органов управления соответствует режиму Mode 2, принятому в США. В других странах может использоваться режим Mode 1, у которого функции правой и левой рукояток поменяны местами. В большинстве современных пультов режим можно выбрать в настройках, но некоторые пульты жестко запрограммированы на один режим на фабрике[1].

[1] В России обычно используется режим Mode 2. Имейте в виду, что узлы правой и левой рукояток имеют разную механическую конструкцию и простого изменения настроек пульта для смены режима недостаточно, необходимо переставлять узлы. — *Прим. пер.*

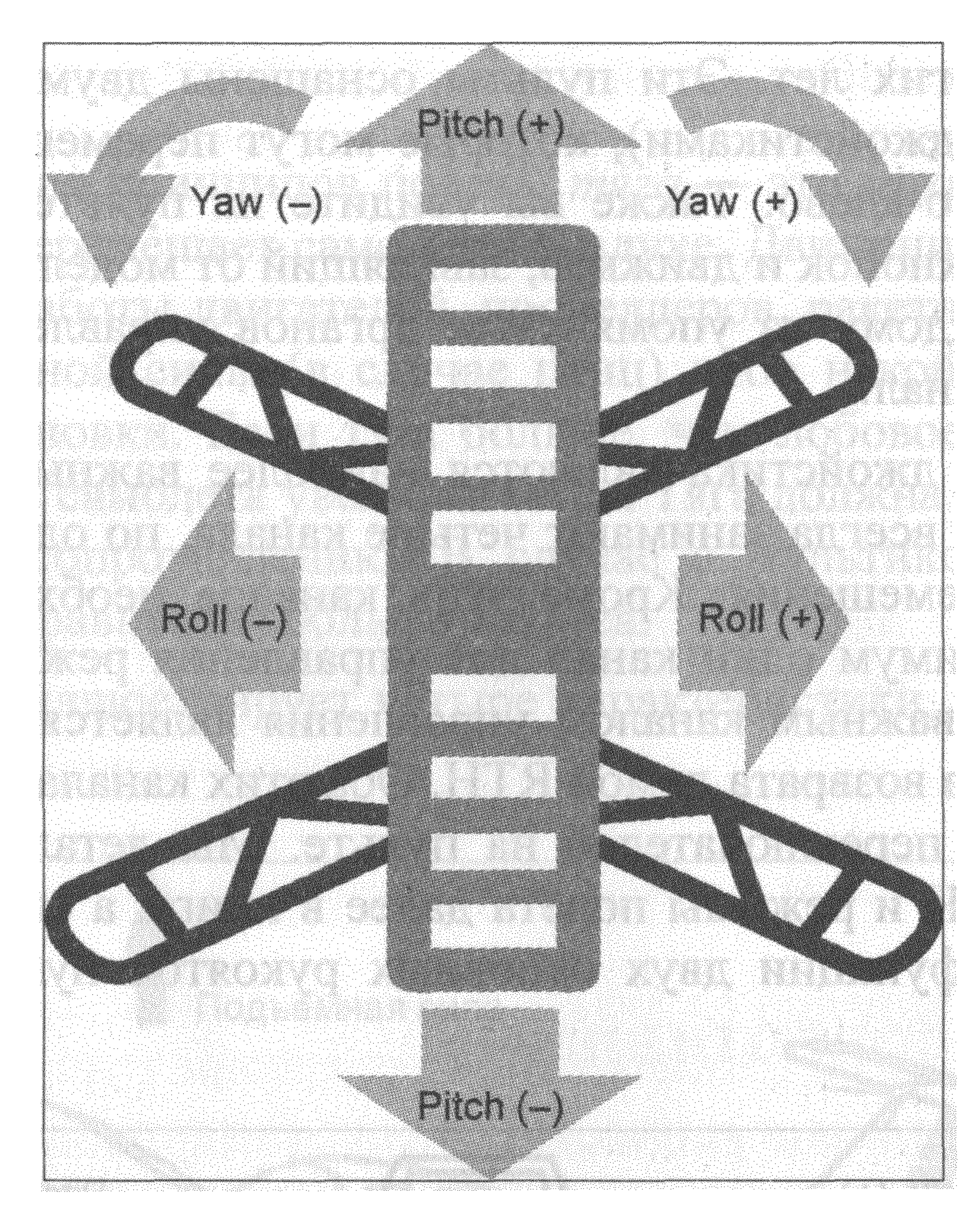


Рис. 1.4. Реакция условного квадрокоптера на различные команды, поступающие с пульта

Газ (Throttle)

Перемещение левой рукоятки пульта управляет оборотами двигателя (двигателей) вашего летательного аппарата. Поскольку это действие очень похоже на работу педали газа в автомобиле, то и канал называется соответственно. Обычно, чем больше значение, передаваемое в канале газа, тем быстрее вращаются двигатели. Разумеется, исключение составляют режимы работы автопилота и автономного полета, о которых мы поговорим позже. Чтобы ваш коптер завис над землей, канал управления должен установить значение оборотов, уравновешивающее действие веса.

Направление (Yaw/Rudder, рысканье/руль направления)

Перемещение левой рукоятки пульта влево-вправо управляет направлением полета. Этот параметр называется авиационным термином *"рысканье"* (Yaw). Канал управляет вращением мультикоптера в горизонтальной плоскости. В моделях самолетов этот канал управляет положением *руля направления* (Rudder), расположенного на хвосте. Во время полета, независимо от того, каким аппаратом мы управляем, воздействие канала приводит к изменению направления полета в сторону отклонения рукоятки.

Каким образом мультикоптер изменяет направление полета, если из движущихся частей имеются только пропеллеры, и нет таких органов управления, как хвостовое оперение и элероны? Это происходит благодаря параметру, который называется *вектором тяги*. Мы рассмотрим этот вопрос в следующей главе, но основная идея состоит в том, что пропеллеры могут вращаться с разной скоростью, позволяя смещать мультикоптер в произвольном направлении. Например, если мы хотим повернуть квадрокоптер по часовой стрелке, то должны увеличить обороты двигателей, вращающихся против часовой стрелки, и уменьшить обороты двигателей, вращающихся по часовой стрелке.

Тангаж (Pitch)

Перемещение правой рукоятки вперед-назад воздействует на канал управления, называемый *тангажем* или *рулем высоты* (elevator). В модели самолета он соответствует отклонению носа самолета вверх или вниз. Когда мы двигаем рукоятку вперед, нос самолета опускается и наоборот. В самолетах это достигается при помощи отклонения руля высоты, расположенного в хвосте самолета. Наклон квадрокоптера достигается за счет изменения суммарного вектора тяги. Большинство автопилотов имеют функцию автовыравнивания (autolevel), ограничивающую максимальный угол, на который вы можете отклонить коптер от горизонтали. В других режимах такое ограничение может отсутствовать, допуская неограниченное отклонение. В обычной практике

полетов это делает возможным исполнение элемента воздушной акробатики — переворота (flip), но вам следует потренироваться, прежде чем пытаться сделать это!

Крен (Roll)

Перемещение правой рукоятки вправо-влево воздействует на канал управления *креном* или *элеронами* (aileron). Воздействие на канал крена заставляет летательный аппарат наклоняться вправо или влево относительно направления полета. В самолетах этот эффект достигается взаимно противоположным отклонением рулевых поверхностей (элеронов), расположенных вдоль задней кромки крыльев. Применительно к мультикоптерам используется изменение вектора тяги, что заставляет аппарат лететь в сторону отклонения. Как и в случае с тангажем, максимальный угол отклонения ограничен автопилотом и не ограничивается в ручном режиме. Правильно настроив автопилот и при наличии опыта, вы можете выполнять боковой переворот, аналогичный фигуре "бочка" у самолетов.

ТРЕНИРОВКА, КАК ПУТЬ К СОВЕРШЕНСТВУ: ИСПОЛЬЗУЙТЕ АВИАСИМУЛЯТОР

Начните отрабатывать управление рукоятками пульта как можно скорее, используя авиасимулятор, установленный на компьютер (**http://gettingstartedwithdrones.com/simulators/**). Рекомендуем найти наиболее удобный для вас симулятор. Мы использовали Phoenix Professional Flight Simulator в нашем летнем лагере любителей квадрокоптеров "Quadkopter Maker Camps". Симулятор поставляется в виде диска и пульта управления, подключаемого к вашему компьютеру по USB. Существует также множество приложений для мобильных устройств, среди которых есть бесплатные, вы можете свободно скачать их. Другой симулятор, который мы сейчас используем, называется Heli-X. Мы предпочли его, потому что он работает на компьютерах Mac. Симулятор — это ценный инструмент для начинающих пилотов, вырабатывающий опыт и уверенность без повреждения дорогого оборудования. Более опытные операторы могут использовать симулятор, чтобы отточить свои навыки. Это замечательно — иметь возможность тренироваться, невзирая на погоду за окном. Терри провел всю зиму за тренажером, вырабатывая начальные навыки. Тренированная мышечная память, безусловно, проявит себя, когда вы столкнетесь с проблемами при пилотировании.

2/Рамы

Что такое рама?

Рама — это основная часть мультикоптера. Все остальные компоненты — двигатели, батареи, контроллер и т. д. — монтируются на раме. Рамы могут весьма существенно различаться по сложности и размеру. Первые рамы, которые мы изготовили, когда начали интересоваться полетами, были очень простыми, нарисованными на обратной стороне салфетки и выпиленными лобзиком из пресскартона (МДФ). Сегодня мы используем для разработки чертежей рам компьютерные системы автоматизированного проектирования, прежде чем вырезать их при помощи станка с числовым программным управлением. В этой главе мы обсудим разные варианты популярных конструкций, но давайте сначала обзорно рассмотрим, как летают мультикоптеры.

Переменный вектор тяги

Общая черта, которую вы можете наблюдать в любой конструкции рамы, заключается в том, что на ней смонтировано несколько двигателей с противоположным направлением вращения. Это основа основ, позволяющая мультироторной системе перемещаться в любом направлении. Вращение и тяга одного двигателя всегда уравновешиваются вращением и тягой противоположного двигателя. Как следствие, почти все варианты мультикоптеров имеют четное количество двигателей (за одним исключением, которое мы рассмотрим в следующем разделе). В квадрокоптере, например, передний левый и задний правый двигатели вращаются по часовой стрелке, а передний правый и задний левый против

2 Зак. 1452

часовой стрелки. Скомпоновав летательный аппарат таким способом, мы можем перемещать квадрокоптер в любую сторону, включая поворот по курсу, просто изменяя обороты некой комбинации двигателей. Например, чтобы заставить квадрокоптер повернуться по часовой стрелке, мы должны увеличить обороты переднего правого и заднего левого двигателей.

Зачем нужно противоположное вращение

Вы могли заметить, что направление вращения пропеллеров всегда взаимно чередуется. Для этого существует очень важная причина: взаимное уравновешивание вращения. Если все пропеллеры вращаются в одном направлении, то летательный аппарат начнет вращаться в противоположном направлении, полетный контроллер будет постоянно пытаться помешать этому.

По-другому этот эффект можно рассмотреть на примере обычного полноразмерного вертолета. Главный ротор всегда вращается в одном направлении. Хвостовой ротор создает компенсирующее усилие, не позволяющее вертолету вращаться в направлении, противоположном ротору. Если устранить эффект равновесия вращающих моментов, то вертолет будет вращаться все время, пока находится в воздухе.

Варианты конструкции мультикоптеров

На рис. 2 на цв. вклейке схематически изображены различные типы рам, которые мы рассмотрим в следующих разделах. Обратите внимание, что каждый пропеллер вращается в направлении, противоположном соседнему.

Трикоптер

Трикоптер (см. рис. 2, *г* на цв. вклейке) — это единственный мультикоптер, не оснащенный четным количеством пропеллеров (их только три). Компенсация вращательного момента и управление по курсу осуществляются отклонением заднего двигателя на некоторый угол относительно вертикали.

Квадрокоптер

Пожалуй, самая популярная сегодня конструкция — простое механическое устройство с четырьмя пропеллерами и минимальным количеством дополнительных компонентов (см. рис. 2, *а* на цв. вклейке).

Гексакоптер

Еще один популярный вариант, т. к. позволяет нести дополнительную нагрузку, оставаясь достаточно динамичным. Оснащен шестью пропеллерами (см. рис. 2, *б* на цв. вклейке). В обиходе иногда называется "плоская шестерка".

Октокоптер

Октокоптер часто применяется в случаях, когда нужно нести увеличенную нагрузку, имея при этом возможность для резервирования. Поскольку он оснащен восемью пропеллерами (см. рис. 2, *в* на цв. вклейке), у него есть шанс остаться в воздухе при выходе из строя одного из двигателей или пропеллеров. Оставшиеся семь двигателей должны удержать аппарат в воздухе. В обиходе иногда называется "плоская восьмерка".

Y6

Первый из наших "соосных" летательных аппаратов, Y6 оснащен шестью двигателями и пропеллерами, установленными на трех лучах (см. рис. 2, *д* на цв. вклейке). Это достигается креплением двигателей сверху и снизу каждого рычага, при этом направление вращения двигателей в каждой паре взаимно противоположное. Вероятно, вы могли видеть соосную конструкцию в покупных радиоуправляемых вертолетах. Такая конструкция более стабильна, но на 20–25% менее эффективна, чем традиционный "плоский" дизайн.

X8

Еще одна популярная соосная конструкция. Рама выглядит похожей на обычный квадрокоптер; основное отличие в том, что на каждом луче соосно смонтированы по два двигателя с противо-

положным направлением вращения, итого восемь (см. рис. 2, *е* на цв. вклейке).

Материалы

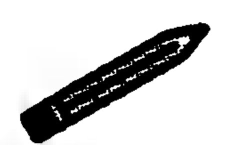
Для строительства современных дронов применяется множество различных материалов. Самыми популярными являются карбон, стеклотекстолит и различные типы пластика и металлов. Вам придется найти разумный баланс между своими запросами. Умудренные опытом моделисты говорят: "Дешевый, прочный и легкий — вы можете выбрать любые *два* качества". Такие материалы, как листовой карбон, имеют прекрасное соотношение "вес/прочность", но стоят очень дорого. По этой причине многие любители начинают изготовление первых конструкций из дерева или даже из пластика при помощи 3D-принтера. Рама, с которой мы будем работать на протяжении всей книги, называется Little Dipper ("Малая Медведица") и изготовлена из конструкционного стеклотекстолита G-10 (см. рис. 3 на цв. вклейке). Мы считаем, что этот материал демонстрирует отличный баланс веса, прочности и стоимости[1].

Соблюдайте баланс

Независимо от того, какой тип рамы вы изготавливаете, всегда очень важно сохранять баланс конструкции между передней и задней частью, между правой и левой стороной. Иными словами, центр тяжести готового к полету квадрокоптера всегда должен находиться в точке пересечения диагоналей воображаемого квадрата рамы с углами в точках крепления двигателей. Если вы разрабатываете что-то с нуля, создание симметричной рамы — это хороший способ обеспечить простую балансировку, когда сборка будет завершена. Если вы разработали несколько несимметричный дизайн, попробуйте расположить остальные компоненты таким образом, чтобы достичь оптимального баланса.

---

[1] В России сложно найти материал G-10 в розничной продаже, да и стоит он довольно дорого. Хорошей альтернативой является использование обычного радиотехнического стеклотекстолита, с которого при помощи хлорного железа стравлена медь. — *Прим. пер.*



Силовая батарея вашего дрона — хороший кандидат на перемещение для достижения баланса вашей конструкции.

Строим раму Little Dipper

Little Dipper — это компактный складной квадрокоптер. Его рама состоит из двух частей, которые помогают изолировать вибрации двигателей от сенсоров и камеры. Мы назовем эти части "чистой" и "грязной" полурамами. "Грязная" полурама — это нижняя часть, она несет на себе движущиеся компоненты, такие как двигатели и пропеллеры. "Чистая" полурама смонтирована сверху и несет элементы бортовой электроники.

Разложите на столе части рамы и сопоставьте их с рис. 2.1 для идентификации. Разделите их на две группы. Части A и B образуют "грязную" полураму (A — низ, B — верх), в то время как C обозначает лучи, на которых будут смонтированы двигатели с пропеллерами. Части D, E и F образуют "чистую" полураму: D представляет собой нижнюю, а E верхнюю часть полурамы. Часть F — это панель камеры, которая монтируется сверху на резиновых виброизолирующих проставках (об этом чуть позже).

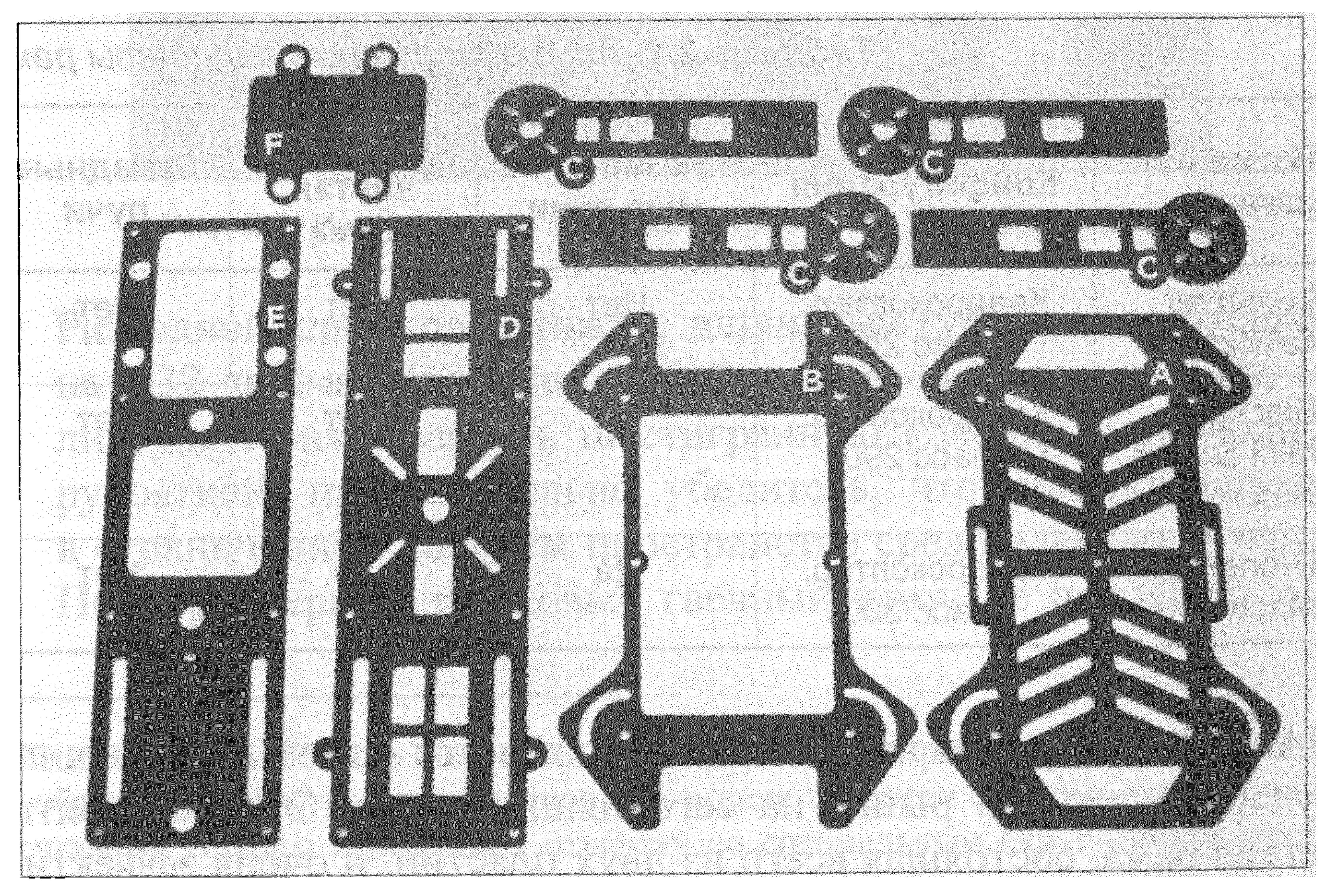


Рис. 2.1. Вы должны иметь под рукой все детали из этого набора

ЧТО ДЕЛАЕТ РАМУ "ЧИСТОЙ"

Термины "чистый" и "грязный" выглядят довольно странным способом описания деталей рамы. Речь не идет о части рамы, которая находится ближе к земле и потому часто пачкается. Мы имеем в виду вибрацию. Теоретическая основа такого разделения частей рамы проста: изготавливаем одну полураму для монтажа подвижных источников вибрации и вторую для монтажа всего остального. Мы изолируем полурамы друг от друга, обеспечивая между ними минимально возможный механический контакт. Применительно к Little Dipper, мы отправляем покупателю набор, содержащий четыре небольших алюминиевых стойки, которые связывают две полурамы воедино. Можно изолировать их друг от друга, используя резиновые стойки. В процессе тестирования мы установили, что разница между этими вариантами невелика. В результате мы убедились, что при прочих равных условиях алюминиевые стойки служат дольше, и это единственная причина, по которой мы включили их в набор.

Альтернативные варианты рам

Хотя мы демонстрируем вам полный процесс сборки квадрокоптера на примере Little Dipper, в табл. 2.1 представлены параметры нескольких альтернативных рам.

***Таблица 2.1.** Альтернативные варианты рам*

Название рамы	Конфигурация	Независимые лучи	"Грязная"/ "чистая" рама	Складные лучи
Lumenier QAV250	Квадрокоптер, класс 250	Нет	Нет	Нет
Blackout Mini Spider Hex	Квадрокоптер, класс 290	Да	Нет	Нет
DroneKraft Mach 300	Квадрокоптер, класс 300.	Да	Да	Нет

QAV250 (см. рис. 4 на цв. вклейке) является одной из самых популярных рам на рынке на сегодняшний день. Это невероятно легкая рама, состоящая всего из двух пластин, и очень эффективная для гоночных квадрокоптеров.

Пошаговая инструкция по сборке

Для начала нам потребуются такие инструменты (рис. 2.2).

- Метрический шестигранный ключ Аллена[1] на 2,5 мм. Желательно иметь полный набор ключей, но мы в процессе сборки будем использовать ключ на 2,5 мм.

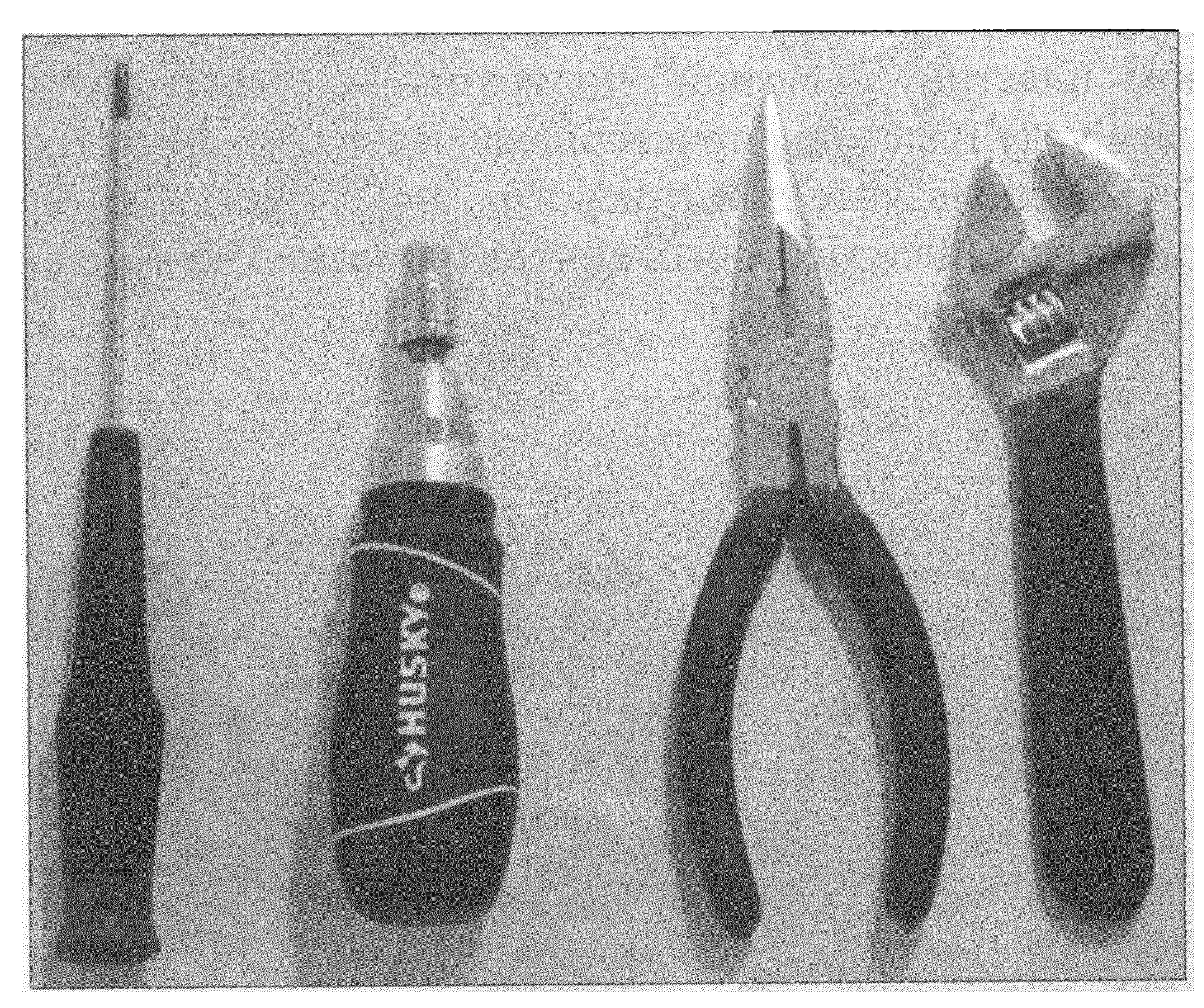


Рис. 2.2. Инструменты, которые потребуются при сборке рамы

- Разводной ключ, пассатижи с длинными губками или головка на 7/32 дюйма. Подойдет любой из этих инструментов, но если будете использовать шестигранную головку с приводной рукояткой, предварительно убедитесь, что она помещается в ограниченном рабочем пространстве среди элементов рамы. Полноразмерный рожковый гаечный ключ не подойдет, т. к.

[1] Ключ Аллена обычно встречается на российском рынке в виде китайских Г-образных шестигранных прутков или в виде отвертки с шестигранным наконечником. Авторы используют отвертку со специальным скругленным шестигранным наконечником, позволяющим вставлять его в головку болта под небольшим углом. — *Прим. пер.*

он слишком длинный. Пассатижи с длинными губками могут оставить следы на деталях, поэтому используйте их в крайнем случае.

Шаг 1: монтируем стойки

Начнем сборку нижней части рамы — "грязной" полурамы — с монтажа коротких алюминиевых стоек (рис. 2.3). Возьмите верхнюю пластину "грязной" полурамы (деталь В на рис. 2.1). В каждом углу пластины просверлены отверстия диаметром 3 мм (рис. 2.4). Используйте эти отверстия, чтобы установить стойки при помощи 5-миллиметровых винтов (короткие черные винты из набора).

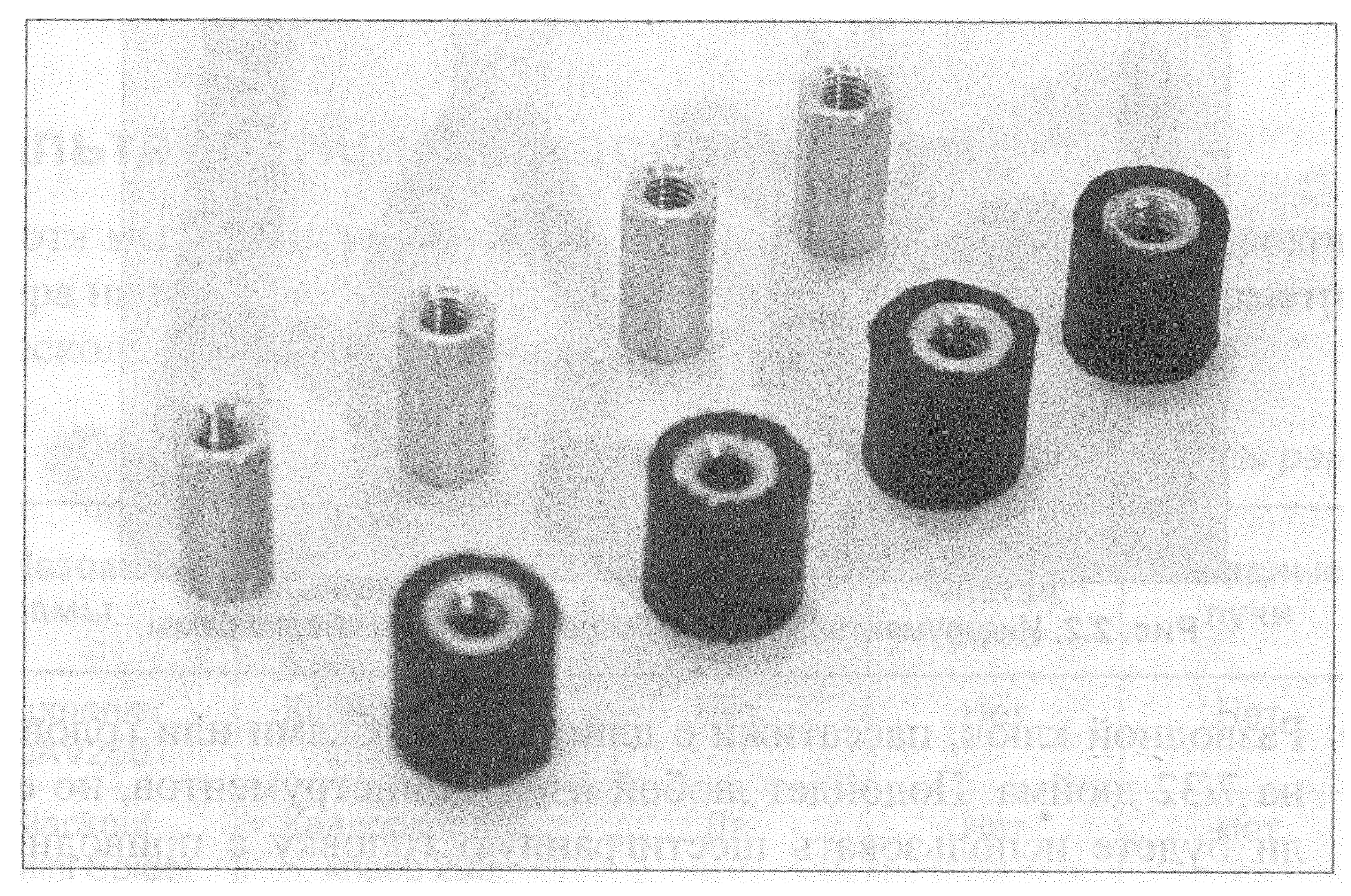


Рис. 2.3. Стойки — как алюминиевые для прочности и большего срока службы, так и резиновые для лучшей виброизоляции — могут применяться для разделения двух полурам

Вставьте винты в отверстия и привинтите стойки с обратной стороны. Винты не должны торчать с обратной стороны стойки (если это случилось, значит, вы взяли не те винты). Когда все четыре стойки установлены, пластина В должна выглядеть, как стол, перевернутый ножками вверх (рис. 2.5).

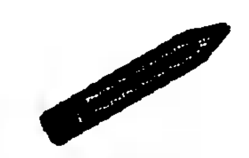
Рис. 2.4. Расположение монтажных отверстий в углах пластины В "грязной" полурамы



Рис. 2.5. Все четыре стойки установлены на пластину В

ГДЕ ЗДЕСЬ ПЕРЕДНЯЯ СТОРОНА?

На рис. 2.5 пластина B направлена от камеры, вправо и вверх. Это означает, что передней части дрона соответствует верхний конец пластины на рисунке. Два простых признака помогут нам распознать направление: если стойки направлены вверх, то дугообразные вырезы должны быть направлены назад (лучи складываются назад). Кроме того, дугообразные вырезы в передней части пластины длиннее. Имейте в виду эти признаки на протяжении процесса сборки.



DRONEKRAFT MACH300

Если вы изготавливаете Mach300, ваш набор поставляется с резиновыми стойками, очень похожими на изображенные на рис. 2.3, и обеспечивает комфортабельный уровень виброизоляции для вашего полетного контроллера.

Шаг 2: завершаем сборку "грязной" полурамы

Завершаем сборку элемента конструкции, установив четыре луча (пластины C на рис. 2.1) и пластину A. Когда вы закончите, это должно выглядеть так, как показано на рис. 2.6.

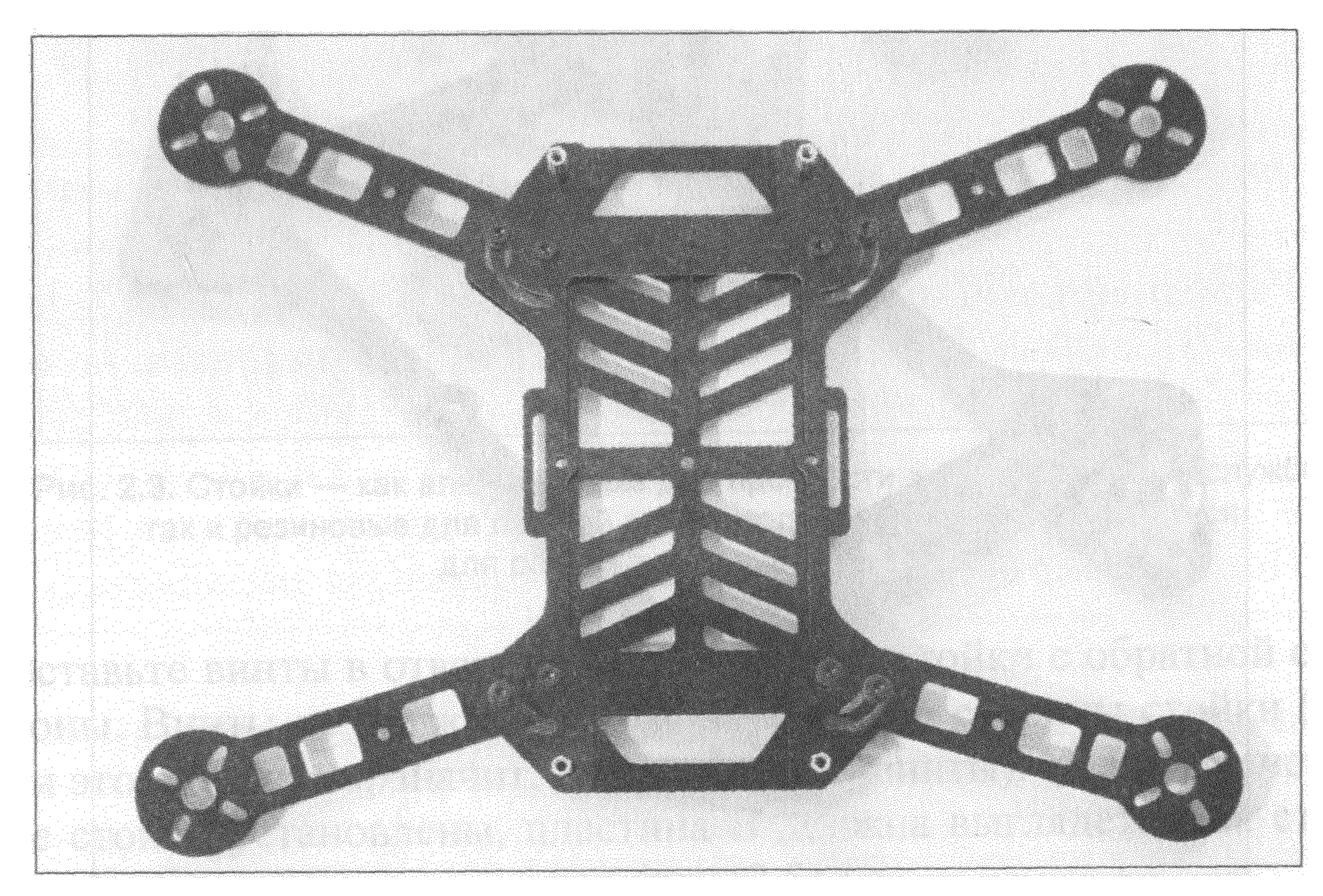


Рис. 2.6. "Грязная" полурама, полностью собранная из пластин A, B и C

Желательно монтировать по одному лучу рамы за один прием. Начните с размещения детали B поверх детали A, при этом стойки на пластине B должны быть направлены вверх. Убедитесь, что направление "вперед" у этих деталей совпадает. Вы можете проверить это по отверстиям для лучей (рис. 2.7) и убедиться, что дугообразные вырезы расположены одинаково на обеих пластинах. Если это не так, просто разверните одну из пластин.

Зачем нужны дугообразные вырезы?

Вы могли заметить, что монтажные отверстия для луча, показанные на рис. 2.7, состоят из одного обычного отверстия диаметром 3 мм и одного дугообразного выреза. Для такой конструкции есть простое обоснование. Лучи могут складываться назад, обеспечивая как более компактный дизайн, так и устойчивость к авариям. Складные лучи могут смещаться при любом ударе во время движения вперед, тогда как жестко закрепленные лучи больше склонны к поломке.

Вы можете очень легко распознать монтажные отверстия для лучей на деталях A и B. Как передние, так и задние монтажные отверстия состоят из одного круглого отверстия диаметром 3 мм, расположенного рядом с дугообразным вырезом, позволяющим складывать лучи рамы.

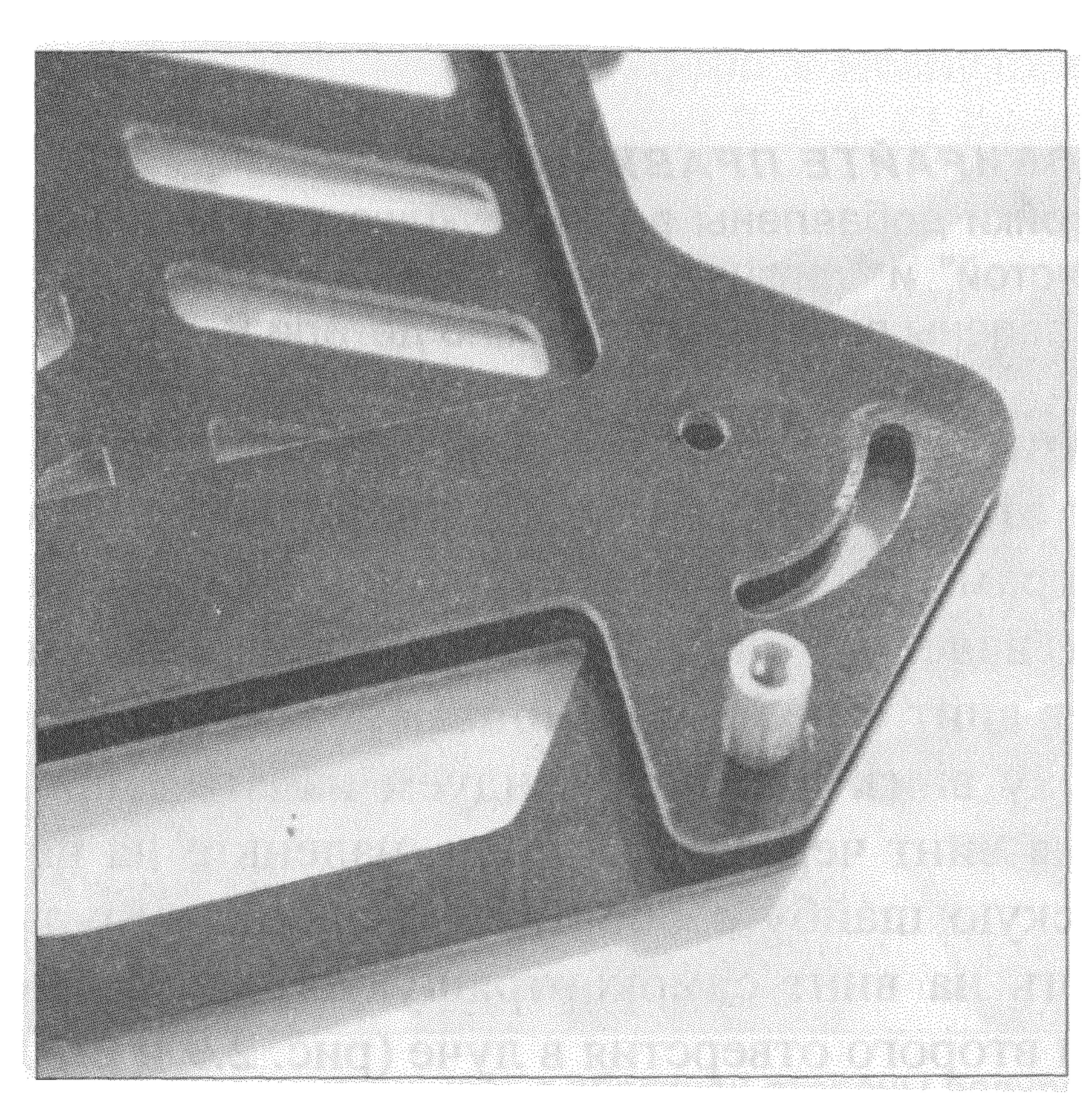


Рис. 2.7. Монтажные отверстия для заднего луча (обратите внимание на центральное отверстие рядом с дугообразным вырезом)

Продолжим вкладывать лучи (деталь С на рис. 2.1) между верхней и нижней пластинами "грязной" платы (детали А и В), как показано на рис. 2.8.

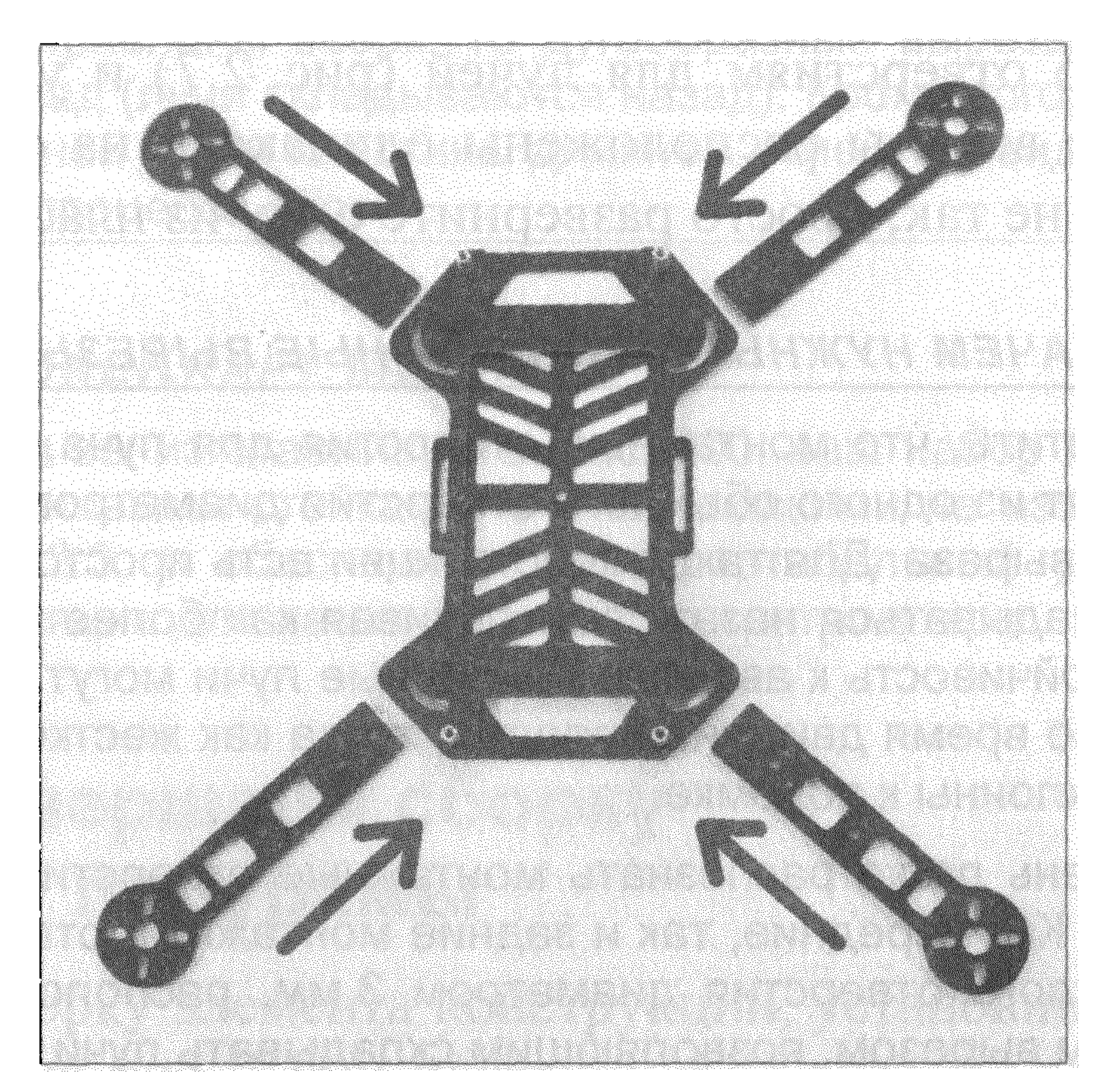


Рис. 2.8. Лучи разложены и готовы к монтажу между верхней и нижней пластиной



СОБИРАЙТЕ ПРАВИЛЬНО

Стойки добавлены в конструкцию для виброизоляции между "чистой" и "грязной" полурамами, поэтому должны быть направлены вверх относительно детали В.

Теперь возьмите первую деталь С и совместите два ее трехмиллиметровых отверстия на прямоугольном конце с монтажными отверстиями рамы. Возьмите винт длиной 12 мм (самый длинный в наборе) и наденьте на него плоскую черную шайбу. Затем вставьте этот винт с шайбой в монтажное отверстие деталей полурамы сверху вниз. Мы рекомендуем начать с круглого отверстия. Проведя винт через все детали, наденьте на него еще одну черную плоскую шайбу с обратной стороны полурамы, прежде чем навернуть на винт самоконтрящуюся гайку. Повторите это действие для второго отверстия в луче (рис. 2.9 и 2.10). Когда луч смонтирован, повторите все упомянутые шаги для остальных лучей.

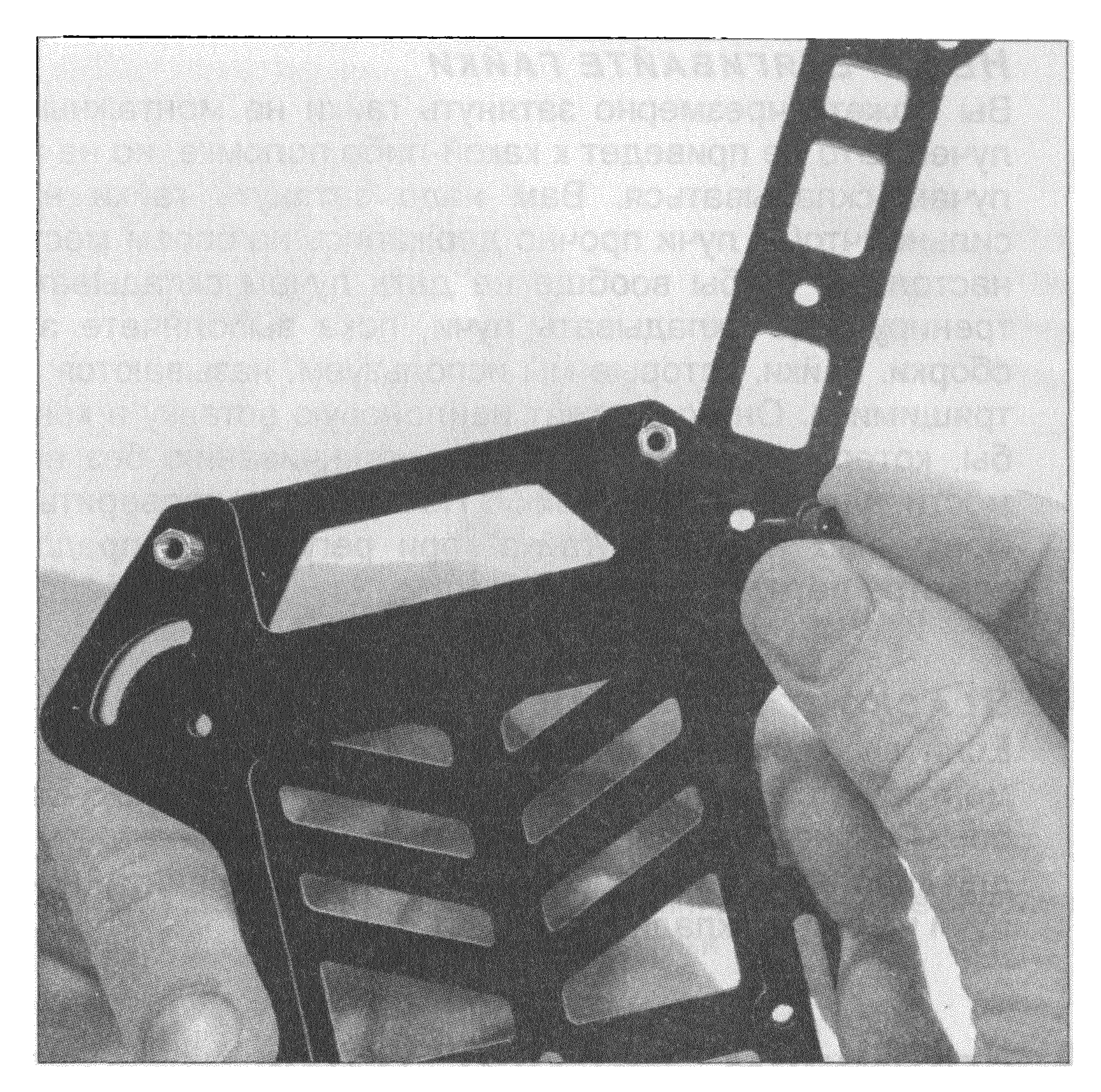


Рис. 2.9. Установка второго винта в монтажное отверстие

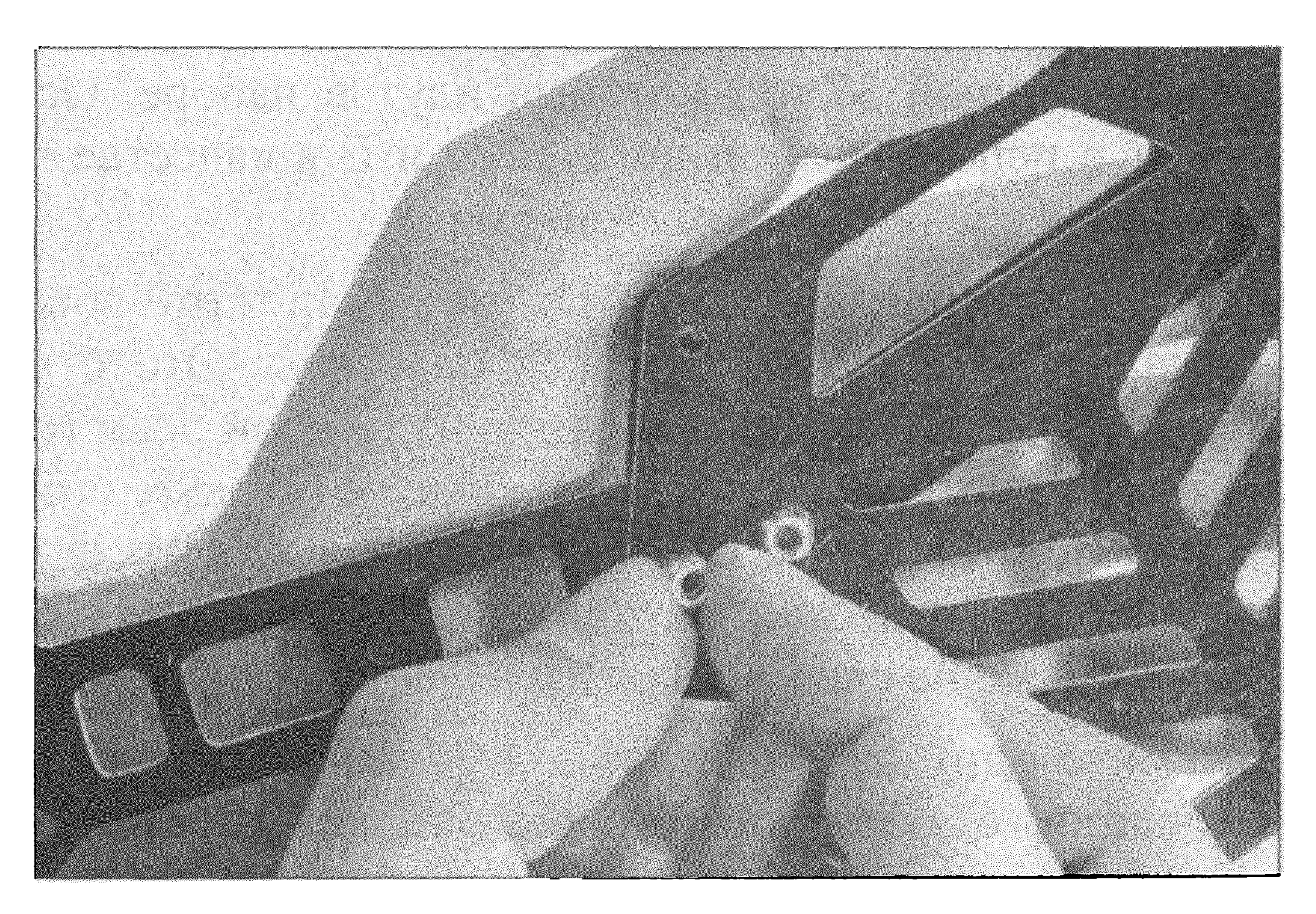
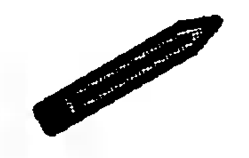


Рис. 2.10. Размещение гаек с обратной стороны полурамы



Не перетягивайте гайки

Вы можете чрезмерно затянуть гайки на монтажных винтах лучей. Это не приведет к какой-либо поломке, но не позволит лучам складываться. Вам надо затянуть гайки настолько сильно, чтобы лучи прочно держались на своем месте, но не настолько, чтобы вообще не дать лучам складываться. Потренируйтесь складывать лучи, пока выполняете этот этап сборки. Гайки, которые мы используем, называются самоконтрящимися. Они содержат нейлоновую вставку в конце резьбы, которая препятствует самоотвинчиванию без необходимости туго затягивать гайку. Не забудьте проверить затяжку монтажных пар "винт/гайка" при регулярном предполетном осмотре летательного аппарата.



Blackout Mini Spider Hex

Если вы собираете раму Blackout Mini Spider Hex, то лучи монтируются на нижнюю панель рамы очень похожим способом. Главное отличие, которое вы увидите, состоит в том, что для крепления лучей используются четыре винта, а не два, и лучи не будут складываться.

Шаг 3: собираем "чистую" раму

Итак, мы приступаем к сборке "чистой" рамы. Эта полурама состоит из деталей D, E и F (см. рис. 2.1). Также мы будем использовать стойки длиной 37 мм, которые идут в наборе. Основная идея состоит в использовании деталей D и E в качестве верха и низа полурамы и соединения их стойками.

Начнем с того, что найдем деталь D. Вы обнаружите восемь отверстий диаметром 3 мм вдоль краев пластины. Это отверстия для монтажа стоек. Возьмите черный винт длиной 5 мм (один из коротких винтов, которые пришли в наборе) и вставьте его в одно из отверстий (рис. 2.11). Не имеет значения, с какого отверстия вы начнете, потому что мы повторим это действие для всех отверстий. Вам также не следует надевать шайбы на винты.

Далее возьмите одну из стоек длиной 37 мм и навинтите ее на винт, торчащий с обратной стороны пластины D (рис. 2.12 и 2.13). Когда вы затянули соединения от руки, можете протянуть их сильнее при помощи шестигранного ключа, а также разводного ключа или пассатижей.

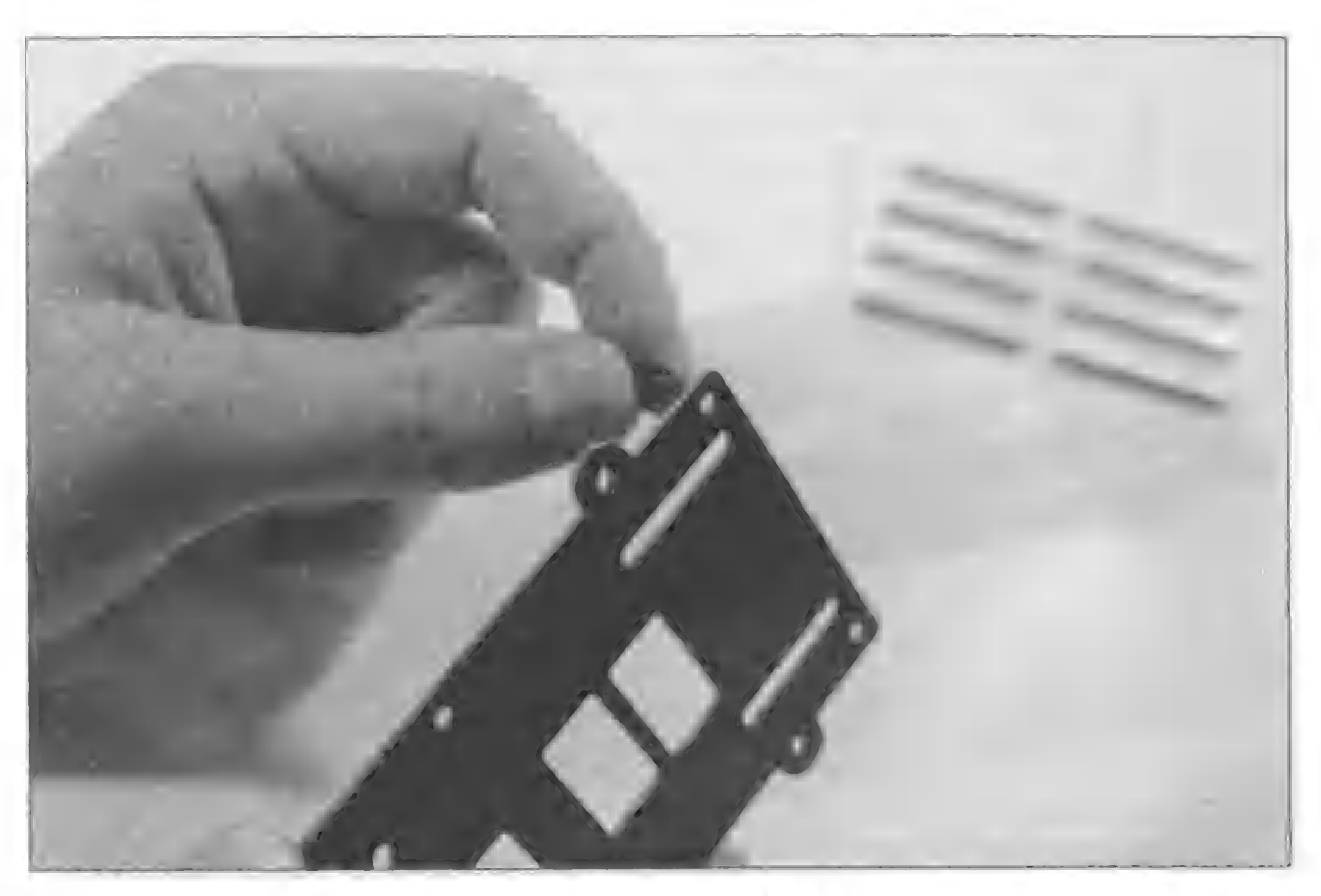


Рис. 2.11. Установка 5-миллиметрового винта в отверстие пластины D для монтажа стойки



Рис. 2.12. Навинчивание первой стойки длиной 37 мм на винт с обратной стороны

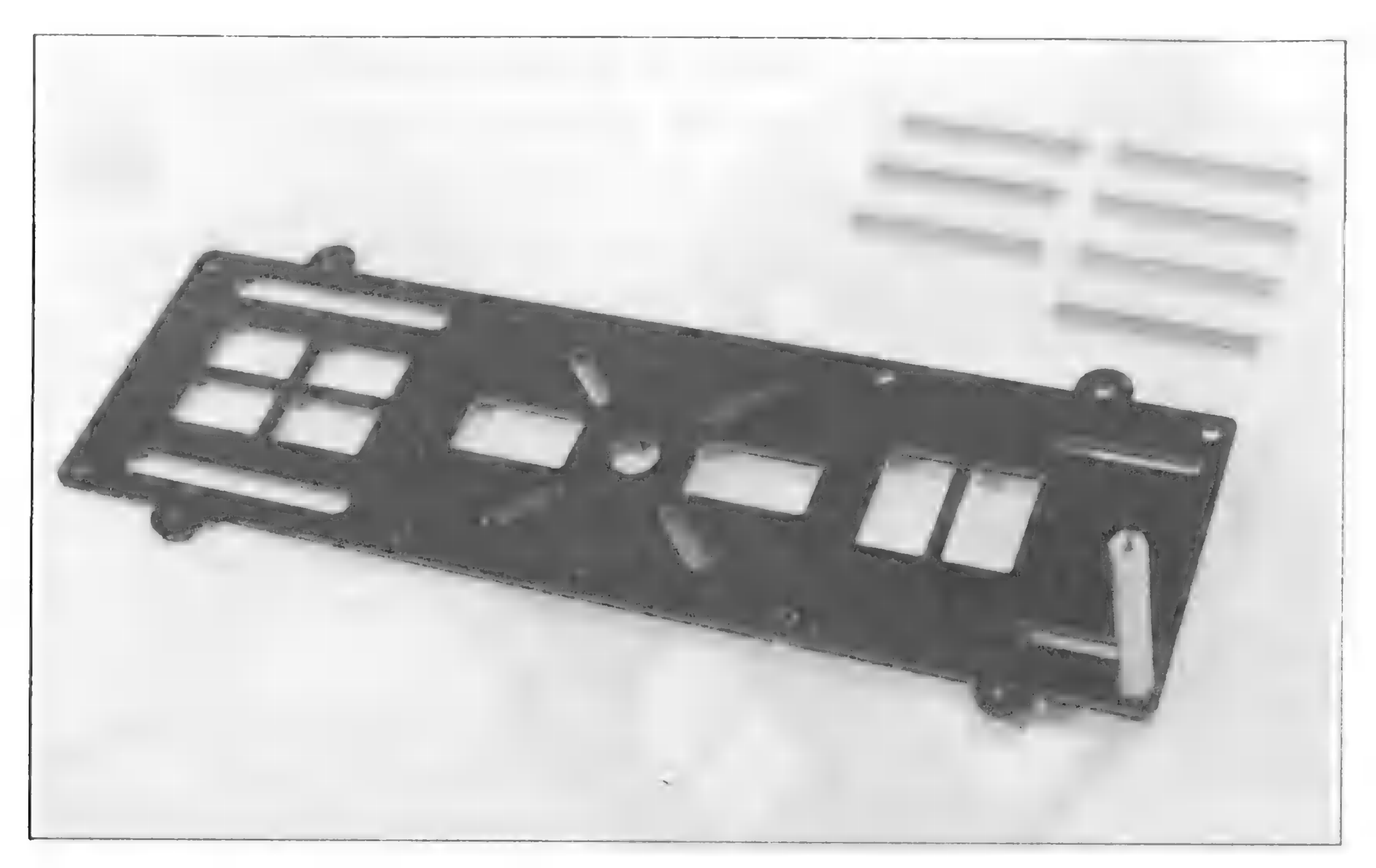


Рис. 2.13. Первая стойка установлена, остальные ждут своей очереди

Теперь мы можем повторить эти шаги для оставшихся стоек (рис. 2.14). Когда вы закончите сборку, деталь D должна выглядеть так, как показано на рис. 2.15.

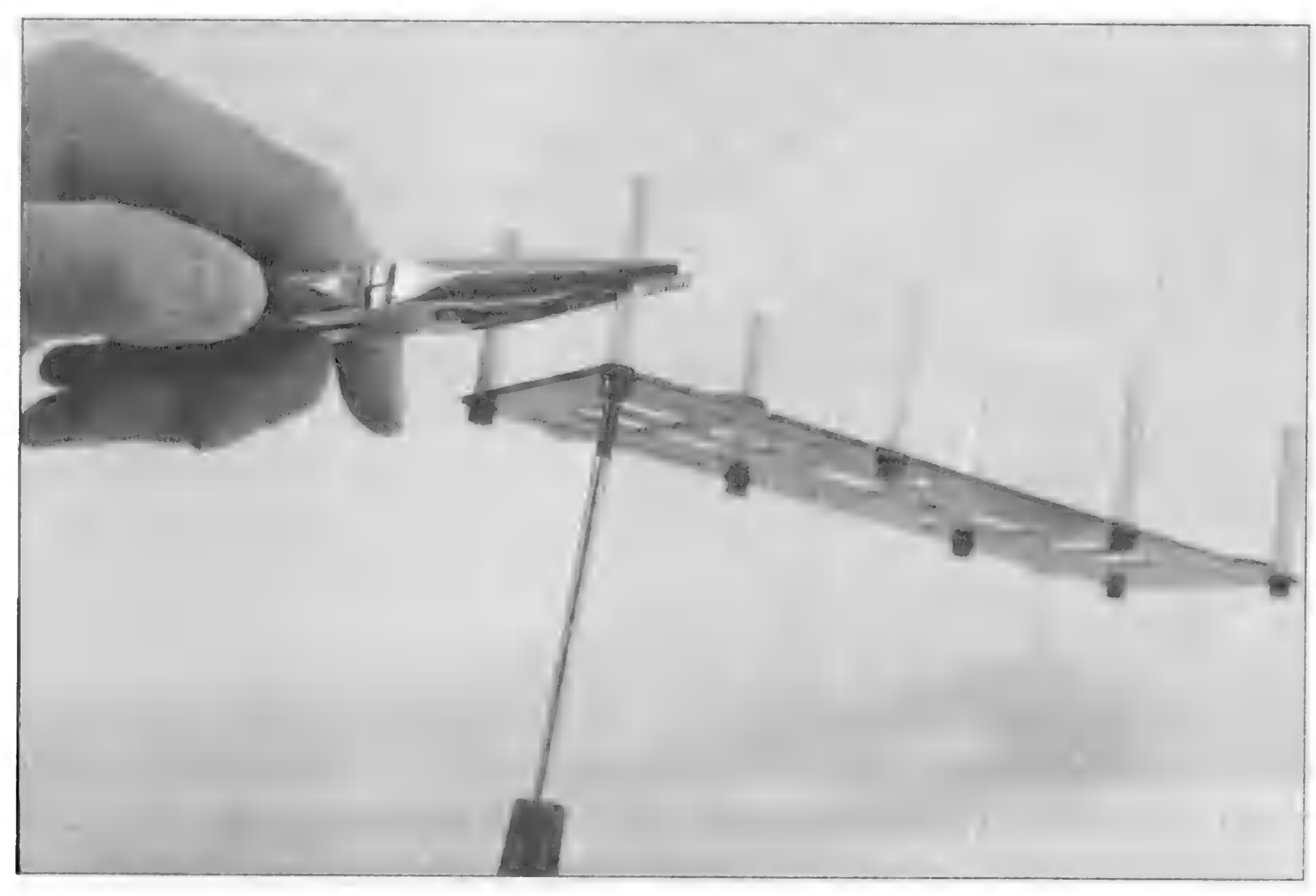


Рис. 2.14. Затяжка последнего винта крепления стойки на пластине D

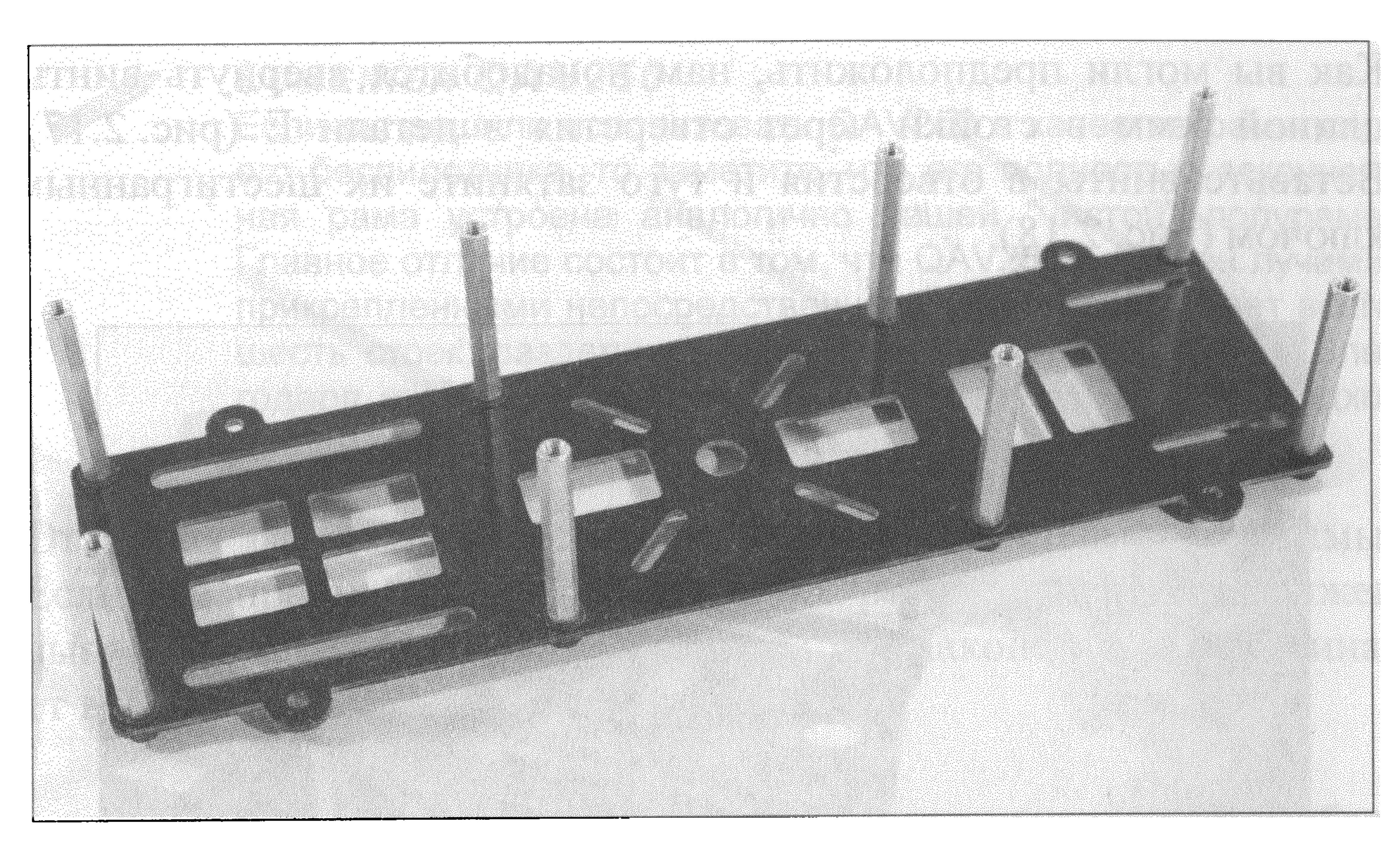


Рис. 2.15. Деталь D с установленными стойками готова к монтажу детали E

Когда все стойки установлены на пластину D, мы готовы смонтировать деталь E. Если вы еще не сделали этого, найдите эту пластину и хорошо рассмотрите ее. Вы заметите две важных вещи. Во-первых, у нее есть восемь монтажных отверстий по периметру (как на детали D) и, во-вторых, две длинных прорези возле углов с одного конца. Поместите деталь E на стойки и убедитесь, что длинные прорези верхней пластины находятся над такими же прорезями нижней пластины. Комплект должен выглядеть так, как показано на рис. 2.16.

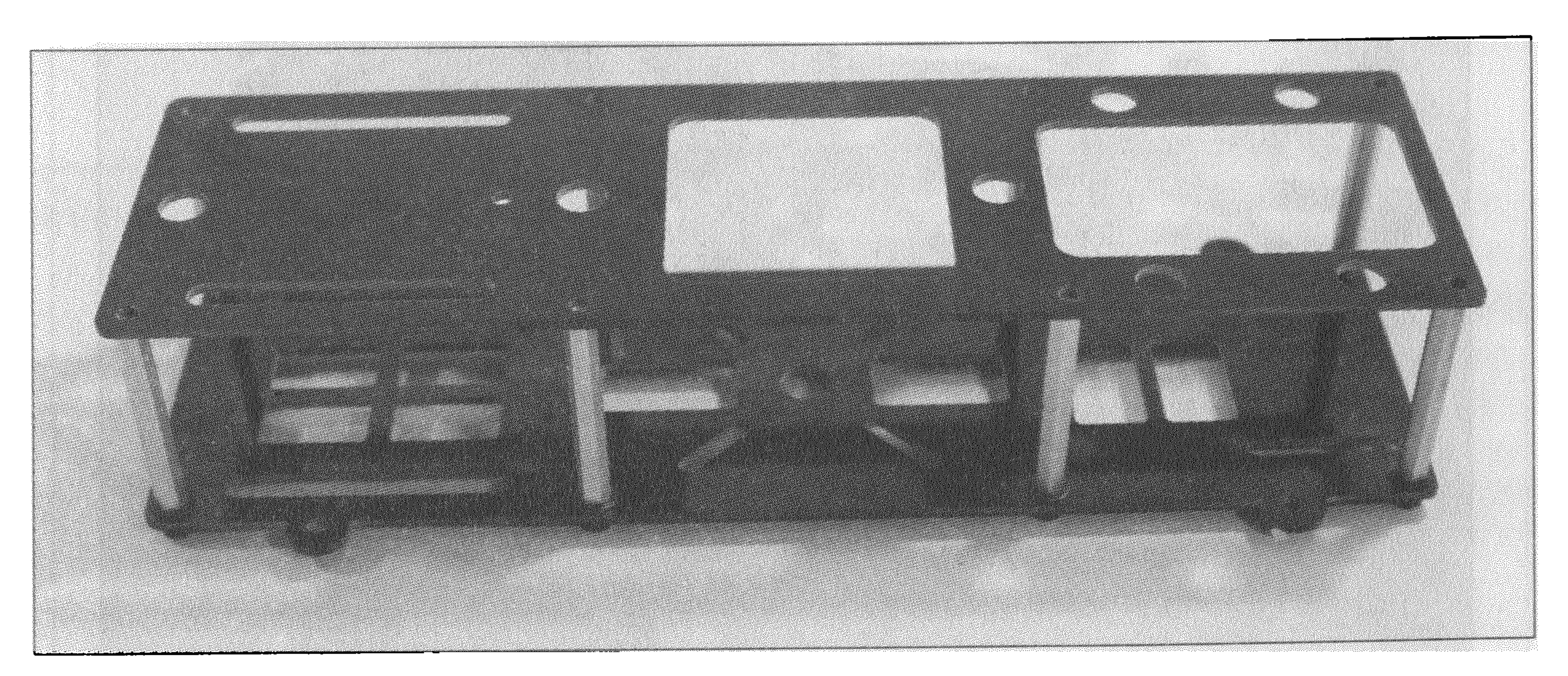


Рис. 2.16. Помещаем деталь E сверху, прежде чем ввернуть винты

Как вы могли предположить, нам понадобится ввернуть винты длиной 5 мм в стойки через отверстия в детали E (рис. 2.17). Вставьте винты в отверстия и туго затяните их шестигранным ключом (рис. 2.18).



Рис. 2.17. Ворачиваем монтажные винты

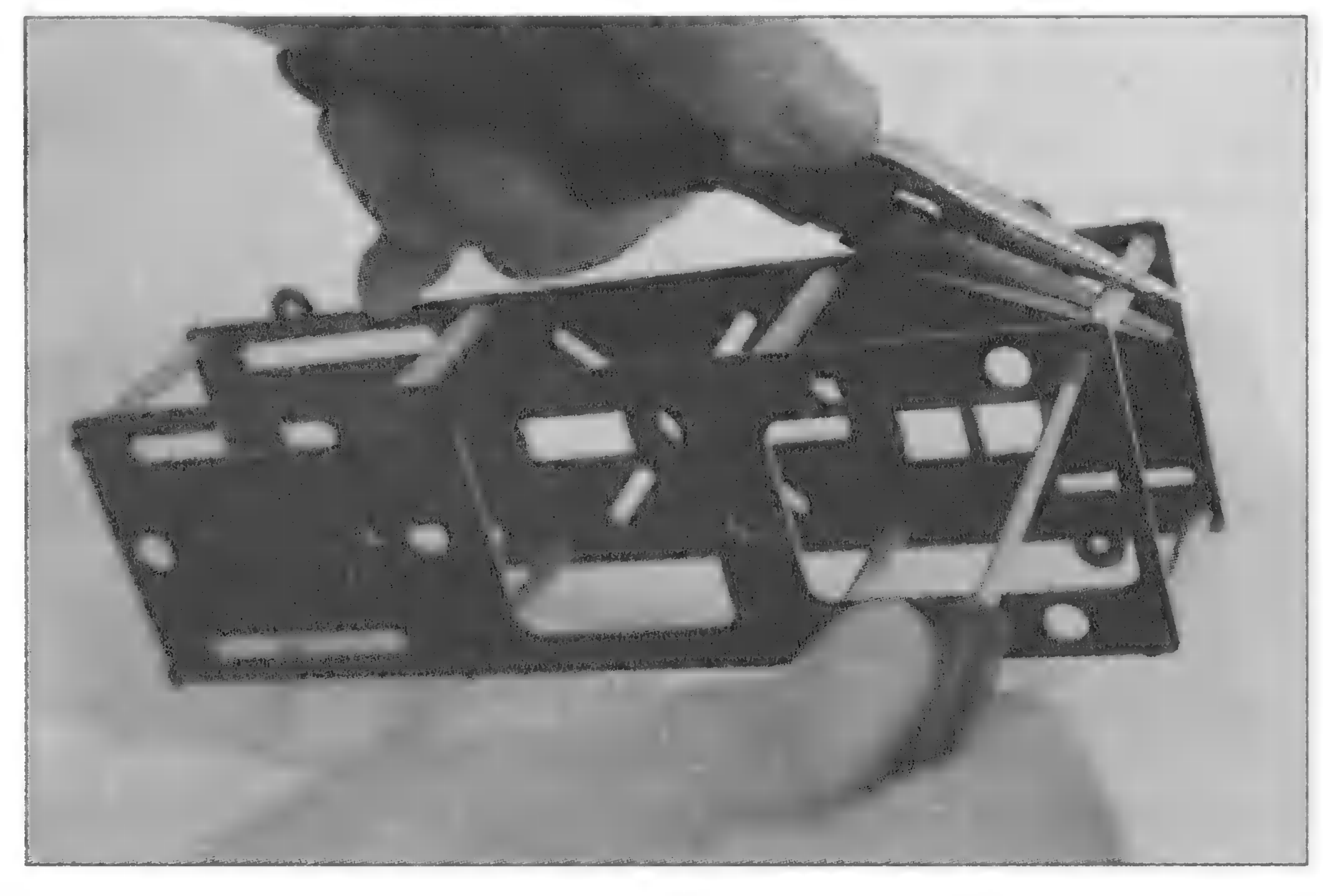


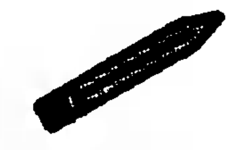
Рис. 2.18. Когда все винты ввернуты, убедитесь, что они туго затянуты



LUMENIER QAV250

Если вы решили использовать QAV250 в качестве рамы своего беспилотника, то заметите, что его полностью законченная рама устроена аналогично нашей "чистой" полураме. Главное отличие состоит в том, что QAV250 оснащен лучами, прикрепленными непосредственно к дну рамы, и имеет всего шесть стоек, разделяющих верхнюю и нижнюю панели. Благодаря этому получается облегченная рама, больше подходящая для гонок.

Отличная работа! Сейчас вы изготовили обе наших полурамы. Если все прошло, как запланировано, результат сборки должен выглядеть так, как показано на рис. 2.19. Наконец-то это начинает выглядеть, как квадрокоптер, разве нет?



С технической точки зрения, мы должны приостановить сборку рамы на данном этапе. Далее нужно смонтировать электронные компоненты, которые мы рассмотрим в следующей главе. Их намного проще монтировать, когда рама собрана не полностью. Мы забежим вперед и покажем сейчас, как соединить две части рамы (это действительно просто), а вы сможете вернуться к этой главе позже, когда будет нужно.

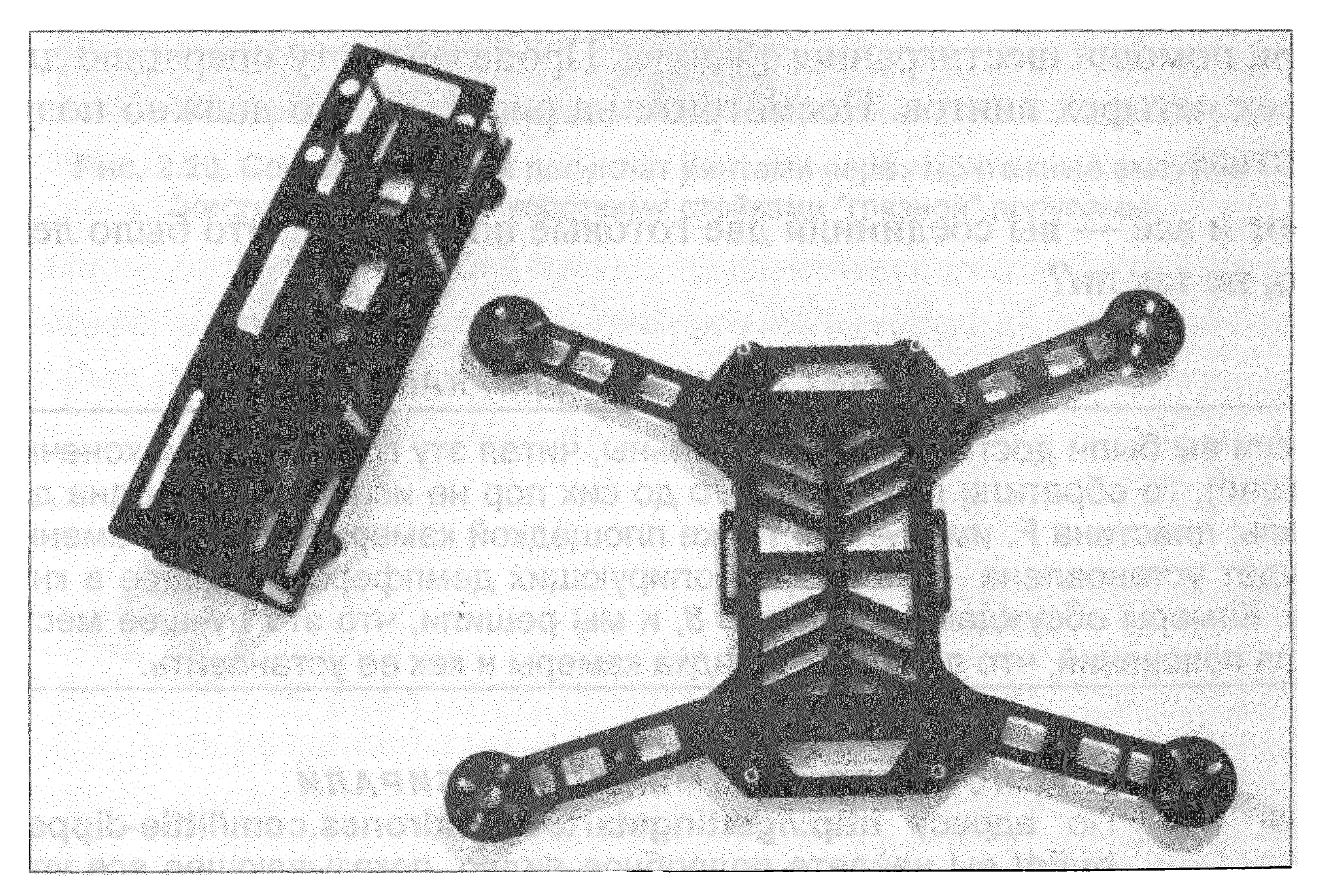


Рис. 2.19. Обе полурамы собраны и готовы к монтажу остальных компонентов

Шаг 4: соединяем полурамы

Напомним: этот финальный шаг сборки не стоит выполнять, если вы просто достигли конца данной главы. Нам еще нужно установить электронные компоненты на обе полурамы, поэтому отложите финальную сборку до полного прочтения *главы 4* (установка бортового контроллера). Поскольку этот шаг очень прост, мы его приводим здесь только для целостности изложения, и вы можете всегда вернуться к нему или, что более вероятно, просто вспомните.

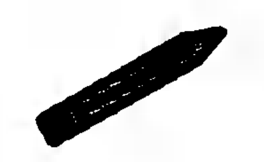
Начнем с размещения "чистой" полурамы поверх "грязной". Совместите четыре небольших скругленных выступа с отверстиями 3 мм на дне "чистой" полурамы с четырьмя короткими стойками на "грязной" полураме. Убедитесь, что у обеих полурам совпадает направление "вперед". Вы можете очень просто определить это: задняя часть "чистой" полурамы имеет две длинных прорези между монтажными винтами задних стоек, тогда как задняя часть "грязной" полурамы определяется тем, что лучи складываются назад.

Положив одну полураму поверх другой, возьмите оставшиеся винты длиной 5 мм и ввинтите их через монтажные отверстия при помощи шестигранного ключа. Проделайте эту операцию для всех четырех винтов. Посмотрите на рис. 2.20, что должно получиться.

Вот и все — вы соединили две готовые полуплаты. Это было легко, не так ли?

КАК НАСЧЕТ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ КАМЕРЫ?

Если вы были достаточно внимательны, читая эту главу (шутим, конечно были!), то обратили внимание, что до сих пор не использована одна деталь: пластина F, именуемая также площадкой камеры. Она непременно будет установлена — на виброизолирующих демпферах — далее в книге. Камеры обсуждаются в *главе 8*, и мы решили, что это лучшее место для пояснений, что делает площадка камеры и как ее установить.



ПОСМОТРИТЕ, КАК МЫ ЭТО СОБИРАЛИ

По адресу **http://gettingstartedwithdrones.com/little-dipper-build/** вы найдете подробное видео, показывающее все упомянутые выше шаги и результаты сборки наших читателей.

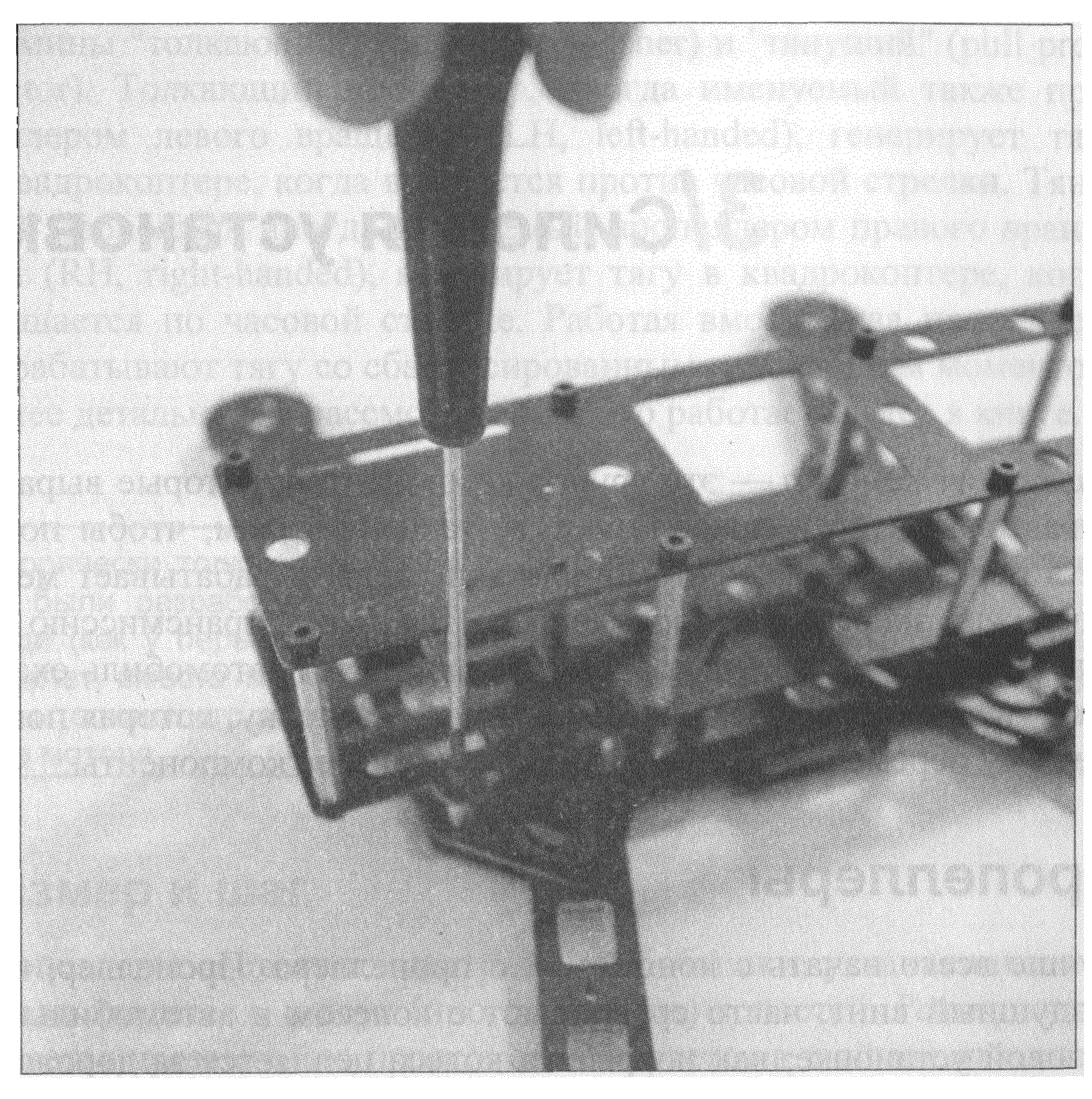


Рис. 2.20. Соединение двух полуплат винтами через монтажные выступы "чистой" полурамы с короткими стойками "грязной" полурамы

3/Силовая установка

Силовая установка — это группа компонентов, которые вырабатывают энергию и преобразуют ее таким образом, чтобы породить перемещение. В автомобиле двигатель вырабатывает механическую энергию, которая передается через трансмиссию на ведущие оси и далее на колеса, что заставляет автомобиль ехать. Наш квадрокоптер тоже имеет силовую установку, которая помогает ему перемещаться. Давайте рассмотрим ее компоненты.

Пропеллеры

Лучше всего начать с конца, т. е. с пропеллера. Пропеллер, или воздушный винт, часто сравнивают с колесом в автомобильной силовой установке; как покрышка колеса цепляется за дорожное покрытие, заставляя автомобиль ехать, так и пропеллер "цепляется" за воздух, двигая квадрокоптер. Так же как автомобильные покрышки, пропеллеры имеют различную форму и размеры и должны быть подобраны в соответствии с параметрами силовой установки, которая будет приводить их в действие. При выборе пропеллеров применяются три основные характеристики: *направление*, *размер* и *шаг*.

Направление

Внимательно посмотрите на пропеллеры в своем наборе. Обратите внимание, что они двух типов, с противоположным углом наклона лопастей. Это значит, что такие пропеллеры должны вращаться во взаимно противоположных направлениях. Общепринятыми названиями для этих двух разновидностей являются

термины "толкающий" (push prop, pusher) и "тянущий" (pull prop, tractor). Толкающий пропеллер, иногда именуемый также пропеллером левого вращения (LH, left-handed), генерирует тягу в квадрокоптере, когда вращается против часовой стрелки. Тянущий пропеллер, иногда именуемый пропеллером правого вращения (RH, right-handed), генерирует тягу в квадрокоптере, когда вращается по часовой стрелке. Работая вместе, два пропеллера вырабатывают тягу со сбалансированным вращающим моментом. Более детально мы рассмотрим, как это работает, далее в книге.

ТОЛКАЮЩИЕ ПРОПЕЛЛЕРЫ

Исторически толкающие пропеллеры получили такое название потому, что были разработаны для самолетов с двигателем, расположенным сзади (как у первого самолета братьев Райт), и должны были толкать самолет, вместо того чтобы тянуть его, находясь впереди. Принцип работы толкающего воздушного винта аналогичен действию винта лодочного мотора.

Размер и шаг

Пропеллеры состоят из центральной бобышки, устанавливаемой на вал двигателя, и двух (иногда больше) лопастей. *Размер* определяется чрезвычайно просто: он измеряется в дюймах от одного конца лопасти до другого, если пропеллер двухлопастной. Для нашего Little Dipper идеальными являются пропеллеры размером 5 или 6 дюймов, но некоторые дроны могут использовать пропеллеры размером 29 дюймов или больше!

Шаг немного сложнее для объяснения. Многие ошибочно полагают, что это значение угла отклонения лопасти от плоской поверхности. На самом деле шаг означает, на какое расстояние продвинулся бы пропеллер, если бы совершил полный оборот в условной твердой среде. Похоже на поведение шурупа для дерева. Шуруп с мелким шагом резьбы продвинется мало за один оборот по сравнению с шурупом с крупным шагом. Пропеллер работает примерно так же. Пропеллер с большим шагом, размещенный в носовой части самолета или в корме лодки, теоретически должен сдвинуть аппарат за один оборот больше, чем пропеллер с малым шагом.

Более детальное обсуждение выходит за рамки этой книги, но мы будем иметь в виду, что истинный шаг пропеллера редко встречается в реальной жизни (рис. 3.1). Некое явление, именуемое проскальзыванием воздушного винта, порождает разность между расстоянием, которое аппарат должен был бы пройти (геометрический шаг), и расстоянием, которое он реально прошел (эффективный шаг). Если вам интересны подробности, к вашим услугам множество веб-сайтов на эту тему.

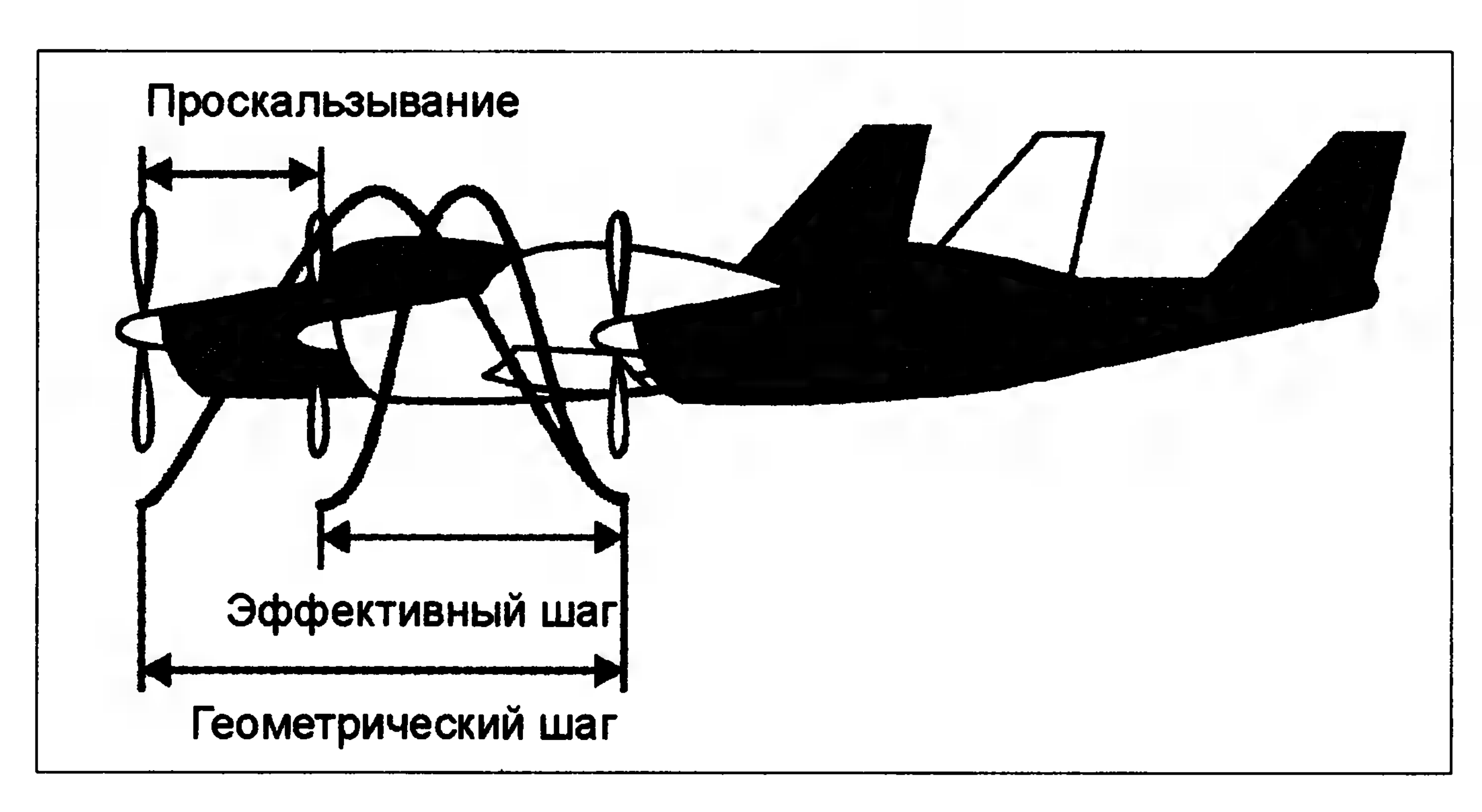


Рис. 3.1. Проскальзывание — это разность между геометрическим и эффективным шагом

Чем больше шаг, тем больше воздуха прогоняет через себя пропеллер за каждый оборот. Прокачка большего количества воздуха означает увеличение тяги. Это замечательно, если вы добиваетесь большей грузоподъемности вашего летательного аппарата, но учтите, что тем самым вы снижаете эффективность, потому что двигатели вашего дрона будут потреблять больше энергии (в виде энергии силовой батареи) для вращения пропеллеров с большим шагом. Увеличение шага сократит общее время полета в качестве расплаты за увеличение тяги.

Пропеллеры продаются с самыми разными сочетаниями размера и шага, каждое из которых имеет свои достоинства и недостатки. Некоторые из них более экономичны, тогда как другие дают большую тягу. Обычно, чем больше шаг и/или больше лопасти, тем больше тяга. Если у вас тяжелый летательный аппарат, либо вы хотите, чтобы он летал с большой скоростью, то пропеллер

с большим шагом или длинными лопастями будет правильным выбором. Однако если вы хотите увеличить продолжительность полета при малой полезной нагрузке, пожалуй, следует уменьшить шаг винта.

Маркировка размера и шага обычно выглядит, как надпись наподобие 0845P или 08X4.5P на лицевой стороне пропеллера возле бобышки (рис. 3.2). Две первых цифры означают размер (8 дюймов), следующие две — шаг. Буква "P" означает "Pusher" — толкающий пропеллер. Некоторые изготовители вместо буквы P используют буквы L и R для обозначения направления вращения. Тянущий пропеллер может не иметь буквы после цифрового обозначения.

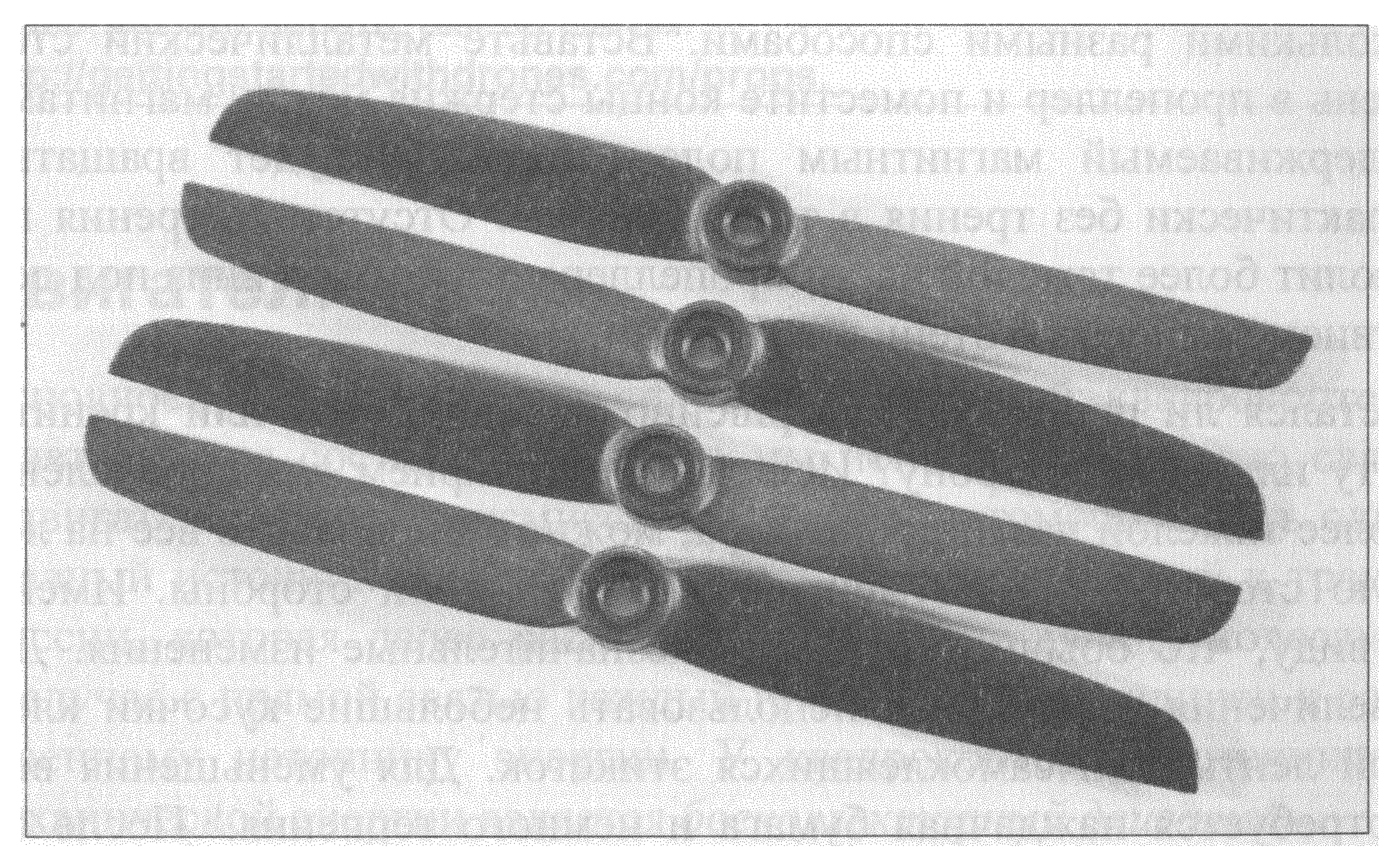


Рис. 3.2. Два тянущих и два толкающих пропеллера

ЭКОНОМИЧНОСТЬ ПРОТИВ МАКСИМАЛЬНОЙ ТЯГИ

Пропеллеры, применяемые в квадрокоптере Little Dipper, имеют размеры 6×3 дюйма. Такой выбор объясняется оптимальным сочетанием тяги, обеспечиваемой размером лопастей (6) и экономичности благодаря небольшому шагу (3). Если вы хотите увеличить скорость и грузоподъемность своего коптера, используйте пропеллеры размера 6×4,5. Учтите: чем больше шаг, тем больше воздуха прокачивает пропеллер и тем больше энергии потребляется от батареи.

Балансировка пропеллеров

Здесь мы можем провести еще одну очевидную параллель между автомобильными покрышками и пропеллерами. Колеса должны быть отбалансированы для мягкого вращения без вибрации на большой скорости; то же самое можно сказать и о пропеллерах. Это весьма деликатная процедура, но она критически важна для каждого, кто хочет достичь успеха в своем хобби. Когда вы балансируете пропеллер, то добиваетесь одинакового веса лопастей, чтобы уменьшить вибрацию с частотой, равной частоте оборотов в минуту.

В теории процесс балансировки прост: вы помещаете пропеллер на свободно вращающуюся ось. Такую ось можно устроить несколькими разными способами. Вставьте металлический стержень в пропеллер и поместите концы стержня между магнитами. Удерживаемый магнитным полем стержень будет вращаться практически без трения в точках опоры. Отсутствие трения позволит более тяжелой части пропеллера опуститься вниз под действием земного тяготения.

Остался ли пропеллер совершенно неподвижным или кренится в ту или иную сторону? Используя этот прием для определения более тяжелой части пропеллера, можно как добавить вес на легкую сторону, так и уменьшить вес тяжелой стороны. Имейте в виду, что обычно это очень незначительные изменения. Для увеличения веса можно использовать небольшие кусочки клейкой ленты или самоклеящихся этикеток. Для уменьшения веса потребуется наждачная бумага и немного терпения.[1] После балансировки пропеллер должен оставаться неподвижным в любом положении.

Если предложение изготовить балансир звучит для вас устрашающе, не волнуйтесь. Различные фирмы выпускают балансиры

---

[1] В случае большой разницы веса удобно сначала поскоблить тяжелую лопасть по всей длине острым скальпелем или лезвием бритвы и окончательно довести наждачной бумагой. Перед началом работы распылите на пропеллер и поверхность стола бытовой антистатик для одежды, чтобы избежать электризации пропеллера и притягивания лопастей к столу и рукам. — *Прим. пер.*

любых форм и размеров. Модель, которую мы использовали, показана на рис. 5 на цв. вклейке. Мы пользуемся этим балансиром с тех пор, как начали заниматься радиоуправляемыми моделями.

Современные пропеллеры выпускаются на фабриках близкими к идеальному балансу, но всегда следует убедиться в этом самостоятельно. Пропеллеры высокого качества проходят фабричную балансировку. Дешевые пропеллеры сберегут ваши деньги, но заставят потерять время на самостоятельную балансировку.

Видео процесса балансировки

Остались сомнения в том, как балансировать пропеллеры? У нас есть видео, как это делать, шаг за шагом: **http://gettingstartedwithdrones.com/props.**

Двигатели

Основное различие между силовой установкой квадрокоптера и автомобиля состоит в том, что мы используем прямую связь с двигателем, а не трансмиссию. В вашем автомобиле есть один главный источник энергии: двигатель, присоединенный к трансмиссии, которая далее распределяет энергию между колесами. В случае с прямой связью каждый пропеллер присоединен к собственному источнику энергии. У квадрокоптеров источником механической энергии является *бесколлекторный двигатель*.

Размеры

Большинство современных бесколлекторных двигателей идентифицируются по диаметру и высоте (рис. 3.3). Например, размер 2216 означает двигатель с диаметром 22 мм и высотой 16 мм. Разумеется, не каждая компания-изготовитель подписалась под соглашением об использовании одинаковых обозначений, поэтому всегда желательно ознакомиться со спецификацией, если это возможно.

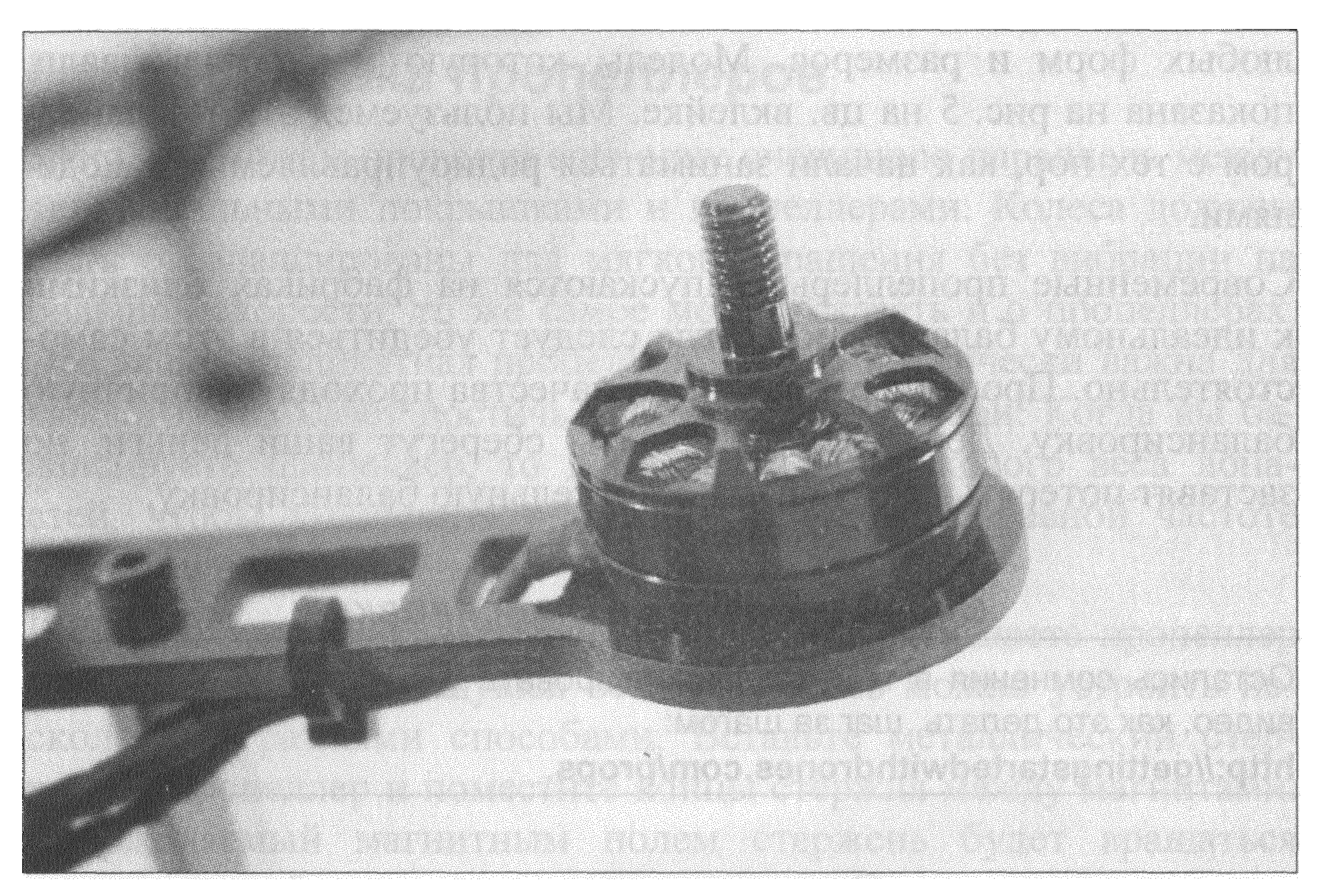


Рис. 3.3. Этот двигатель размера 2204 с коэффициентом оборотов kV = 2300 работает с 5- и 6-дюймовыми пропеллерами

Коэффициент kV

Еще одна спецификация, которая нанесена на боковине двигателя, — это значение kV. Оно говорит нам, сколько оборотов в минуту развивает двигатель в пересчете на каждый вольт приложенного напряжения. Обороты измеряются при нулевой нагрузке, поэтому их значение может меняться в зависимости от трения или полезной нагрузки. Теперь вы знаете, что kV показывает, как меняются обороты при изменении приложенного напряжения. Чем выше напряжение, тем больше обороты, но само значение kV остается постоянным.

Расчет оборотов

Двигатель с kV = 900 и питающей батареей с напряжением 12 В может развить максимально 10 800 (12×900) оборотов в минуту без нагрузки. При использовании батареи с напряжением 16,8 В максимальные обороты составят 15 120 об/мин.

Выбор правильного пропеллера

Каждый двигатель будет работать с определенным уровнем эффективности в зависимости от того, с каким пропеллером он соединен в пару. В наши дни рассуждения на этот счет минимальны, поскольку производители двигателей указывают рекомендованные пропеллеры. Обычно это диапазон размеров пропеллеров. Чтобы определить наиболее подходящий для вашего устройства пропеллер, вы должны прикинуть, каким будет полетный вес дрона, когда вы его полностью закончите. Чем тяжелее получается дрон (и чем ближе его вес к предельной тяге двигателя), тем больше должны быть размеры пропеллера в пределах рекомендованного диапазона[1].

Полная тяга

Общий термин, который вы будете слышать применительно к винтомоторной паре, — это *полная тяга*; он означает вертикальную тягу, которую винтомоторная пара создает в реальных условиях. Обычно полная тяга указывается в документации в виде веса, уравновешивающего вертикальную тягу при газе 100%. Большинство производителей предоставляют такую информацию. Двигатели 2204, применяемые в квадрокоптере Little Dipper, могут создавать тягу 539 грамм с пропеллерами размера 6×3. Если мы заменим пропеллеры, тяга должна измениться. Очевидно, что тяга измеряется для отдельного двигателя и пропеллера. Для расчета тяги дрона следует умножить тягу одного двигателя на количество лучей (для квадрокоптера это четыре). Следовательно, Little Dipper способен развить суммарную тягу
$4 \cdot 539 = 2156$ грамм!

ВЫЧИСЛЯЕМ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ

Существует параметр, который должен определить каждый разработчик беспилотных летательных аппаратов. Это разность между *полной тягой* и *полным полетным весом*. Полный полетный вес — это вес летатель-

[1] Несмотря на наличие онлайн-калькуляторов и симуляторов, процесс подбора пропеллеров остается во многом интуитивным и всегда требует проверки и сравнения нескольких вариантов с целью выбора оптимального. — *Прим. пер.*

ного аппарата, полностью готового к полету, с учетом веса двигателей, пропеллеров, батареи, электронных модулей и т. д. Теперь нам понятно, как вычислить грузоподъемность: надо взвесить все компоненты квадрокоптера и вычесть полученный вес из значения полной тяги.

Электронные регуляторы оборотов

Электронные регуляторы оборотов (Electronic Speed Controller, ESC) представляют собой небольшие электронные устройства, предназначенные для управления скоростью и направлением вращения каждого двигателя квадрокоптера. Четыре регулятора, установленные на нашем летательном аппарате, специально разработаны для управления бесколлекторными двигателями. Принцип их работы состоит в преобразовании энергии силовой батареи в последовательность электрических импульсов, подаваемых по трем проводам в бесколлекторный двигатель. Эта последовательность управляет скоростью и направлением вращения и даже позволяет тормозить двигатель. Скорость вращения каждого двигателя определяется посредством подключенного к регуляторам полетного контроллера. Подробнее мы поговорим об этом в следующем разделе.

Классификация: амперы и вольты

При покупке регуляторов следует обратить внимание на два основных параметра: рабочий ток и напряжение. Численное значение напряжения указано для того, чтобы определить максимальное рабочее напряжение силовой батареи, подключаемой к регулятору (мы рассмотрим батареи подробнее в *разд. "Силовая батарея" далее в этой главе*). Сейчас достаточно отметить, что в качестве примера мы будем использовать батарею из трех ячеек с суммарным напряжением 12,6 В. Помните, как во время обсуждения полной тяги мы упоминали спецификацию двигателей? Такая спецификация содержит значение рабочего тока в амперах. Это именно та информация, на основании которой вы выбираете регулятор для заданного двигателя и пропеллера.

Прошивка SimonK

Регуляторы, используемые в любительских дронах, изначально были разработаны для применения в радиоуправляемых моделях самолетов. Стремясь улучшить характеристики, моделист-энтузиаст Симон Кирби (Simon Kirby) разработал открытый проект прошивки регуляторов хобби-класса, именуемый SimonK. Разработанная им прошивка обеспечивает более быстрый отклик двигателей на управляющее воздействие, что улучшает стабильность летательного аппарата. Большинство основных производителей регуляторов сегодня предлагают регуляторы с прошивкой SimonK, специально настроенной для использования в мультикоптерах (рис. 3.4).

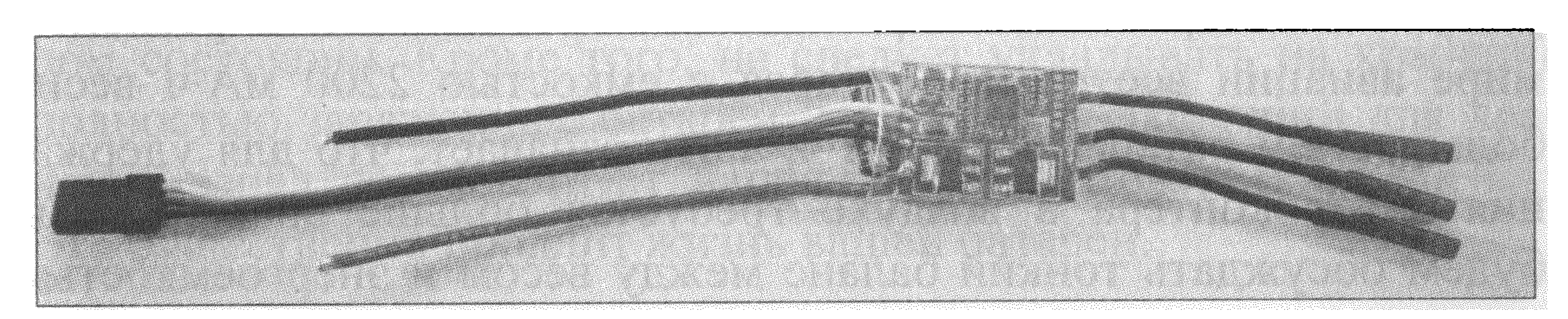


Рис. 3.4. Регуляторы, которые мы используем в нашем примере, рассчитаны на ток до 12 А и напряжение до 16,8 В (батарея 4S)

Силовая батарея

Одним из основных технологических достижений, обусловивших взлет популярности гражданских дронов, стали литий-полимерные (Li-Po) батареи. Весьма сходные по устройству с батареями для смартфонов, литий-полимерные батареи имеют намного большее соотношение "емкость/вес" по сравнению с никель-кадмиевыми (NiCD) и никель-металлгидридными (NiMH) батареями. Такое избавление от лишнего веса помогло беспилотным аппаратам оторваться от земли.

Емкость и напряжение

Большинство современных литий-полимерных батарей номинируется по их емкости и напряжению. Все литий-полимерные батареи для достижения нужного напряжения формируются из последовательно соединенных одиночных ячеек, конструктивно

объединенных в блок. Номинальное напряжение каждой ячейки 3,7 В (4,2 В при полном заряде). Это означает, что в нашем примере номинальное напряжение составит 3 · 3,7 = 11,1 В и может достигнуть 3 · 4,5 = 12,6 В при полном заряде.

Единица измерения емкости называется ампер-часы (А·ч, A·h) и описывает, как долго батарея может поддерживать заряд при заданной нагрузке: батарея емкостью 10 А·ч должна питать нагрузку током 1 ампер в течение 10 часов. Эта же батарея при токе нагрузки 5 А разрядится за 2 ч. Все авиамодельные батареи характеризуются емкостью в миллиампер-часах (мА·ч, mA·h) — рис. 3.5. Батарея, маркированная значением 2200 мА·ч, имеет бóльшую емкость, чем батарея с маркировкой 1500 мА·ч. В теории такая батарея должна работать на 30% дольше. В реальном мире авиации все иначе. Батарея с емкостью 2200 мА·ч весит больше, чем батарея 1500 мА·ч, а это означает, что для удержания квадрокоптера в воздухе требуется больше энергии. Мы будем обсуждать тонкий баланс между весом и энергоемкостью на протяжении книги.



Рис. 3.5. Трехъячеечная силовая батарея емкостью 2200 мА·ч

Несмотря на то, что литий-полимерные батареи прогрессивны, они обладают рядом недостатков. При определенных условиях батареи нестабильны и могут стать причиной пожара!

По этой причине вы должны всегда быть очень осторожны при использовании литий-полимерных батарей. Заменяйте поврежденные батареи и никогда не пользуйтесь батареями, которые были так или иначе разгерметизированы: это прямой путь к беде! Используйте огнеупорные пакеты, когда заряжаете литий-поли-

мерные батареи. Подключив батарею к зарядному устройству обычным образом, положите ее в огнеупорный пакет и закройте горловину пакета как можно плотнее. Ну, и не забывайте за батареями во время зарядки — эта предосторожность никогда не бывает лишней.

Оставляйте в баке немного топлива

Запомните золотое правило: никогда не разряжайте вашу батарею ниже 3,2 В на ячейку. Это означает, что разрядив трехъячеечную батарею ниже напряжения 9,6 В, вы испортите ее. Мы установили, что если настроить сигнализатор разряда на напряжение 3,5 или 3,4 В на ячейку, этого достаточно, чтобы совершать посадку с запасом около 20% емкости и поддерживать батарею в прекрасном состоянии. Кроме того, не следует укладывать на хранение полностью заряженные батареи. Наиболее подходящий для хранения заряд соответствует напряжению около 3,8 В на ячейку. Это существенно продлит жизнь вашей батареи.

Пошаговая инструкция по сборке

Для этого этапа сборки нам потребуются следующие инструменты (рис. 3.6):

- паяльник и припой;
- "третья рука" или любое другое фиксирующее приспособление;
- монтажный фен;
- 12 пар соединителей "гнездо–штекер" типа "тюльпан" диаметром 2 мм;
- около 10 см термоусадочной трубки диаметром 3,5 мм;
- кусачки-бокорезы;
- шестигранный ключ Аллена;
- маленькие нейлоновые хомутики;
- двусторонняя клейкая лента;
- ножницы.



Рис. 3.6. Для этой главы потребуется внушительный набор инструментов

Шаг 1: монтаж распределителя питания

Перво-наперво, что мы должны сделать, — это найти на "грязной" полураме место для платы распределителя питания. Когда мы делали свою конструкцию, то изготовили самодельный распределитель из фольгированного стеклотекстолита (рис. 3.7 и 3.8), но на рынке много недорогих подходящих вариантов. Этот компонент идеально располагается в середине "грязной" полурамы. Начните с нанесения нескольких кусочков двусторонней клейкой ленты на обратную сторону распределителя (рис. 3.9).

Теперь прижмите распределитель на место посредине "грязной" полурамы, где он будет хорошо доступен для проводов, идущих от батареи, регуляторов оборотов и любых дополнительных устройств, нуждающихся в питании (рис. 3.10). В центре имеется отверстие диаметром 3 мм на случай, если вы захотите добавить винт в качестве дополнительного крепежа. Мы пришли к выводу, что двусторонняя клейкая лента отлично удерживает распределитель на месте без винта. Если вы решили применить винт, постарайтесь использовать нейлоновые винт и гайку, которые экономят вес и не проводят электричество.

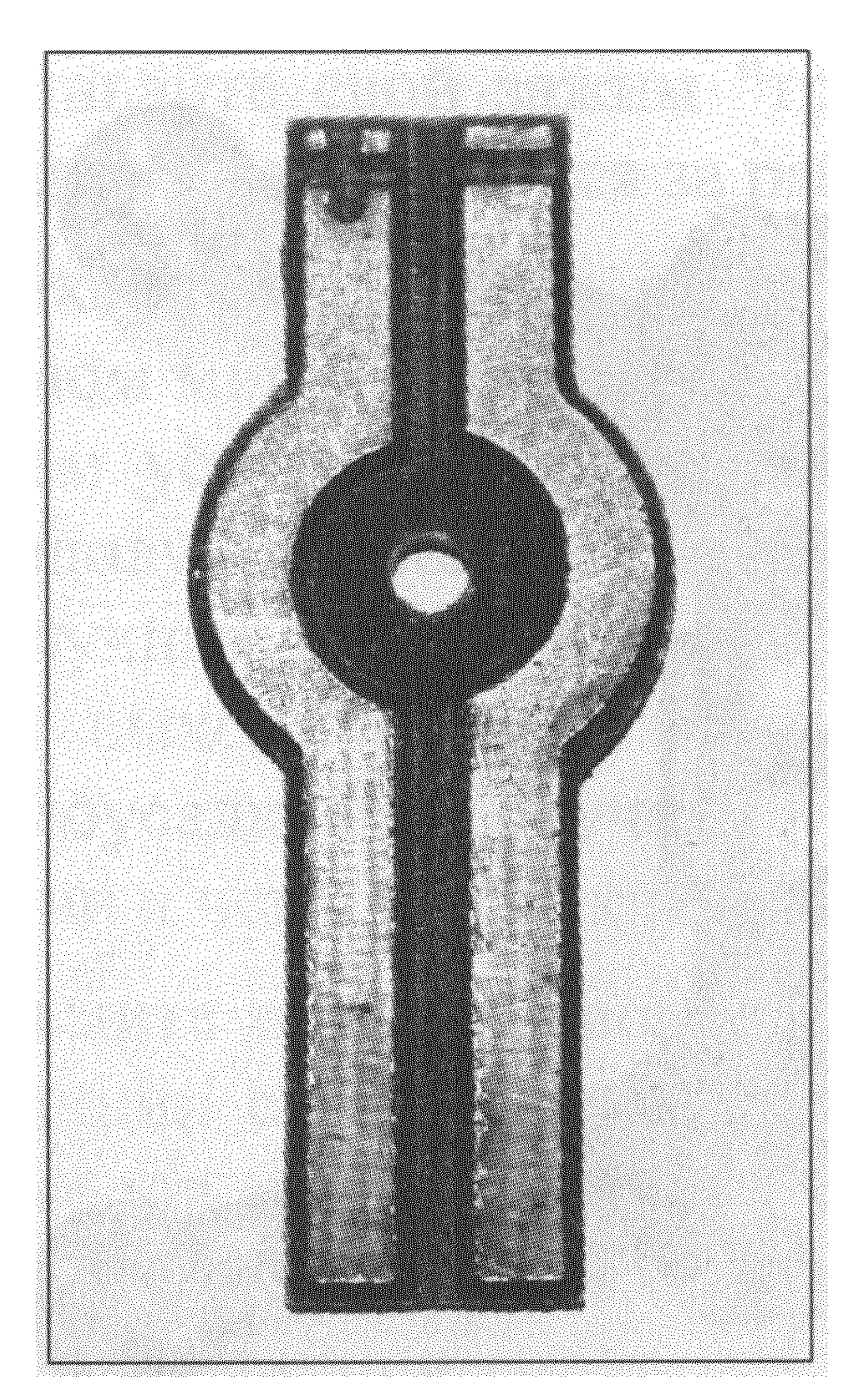


Рис. 3.7. Наш распределитель питания вырезан из фольгированного текстолита

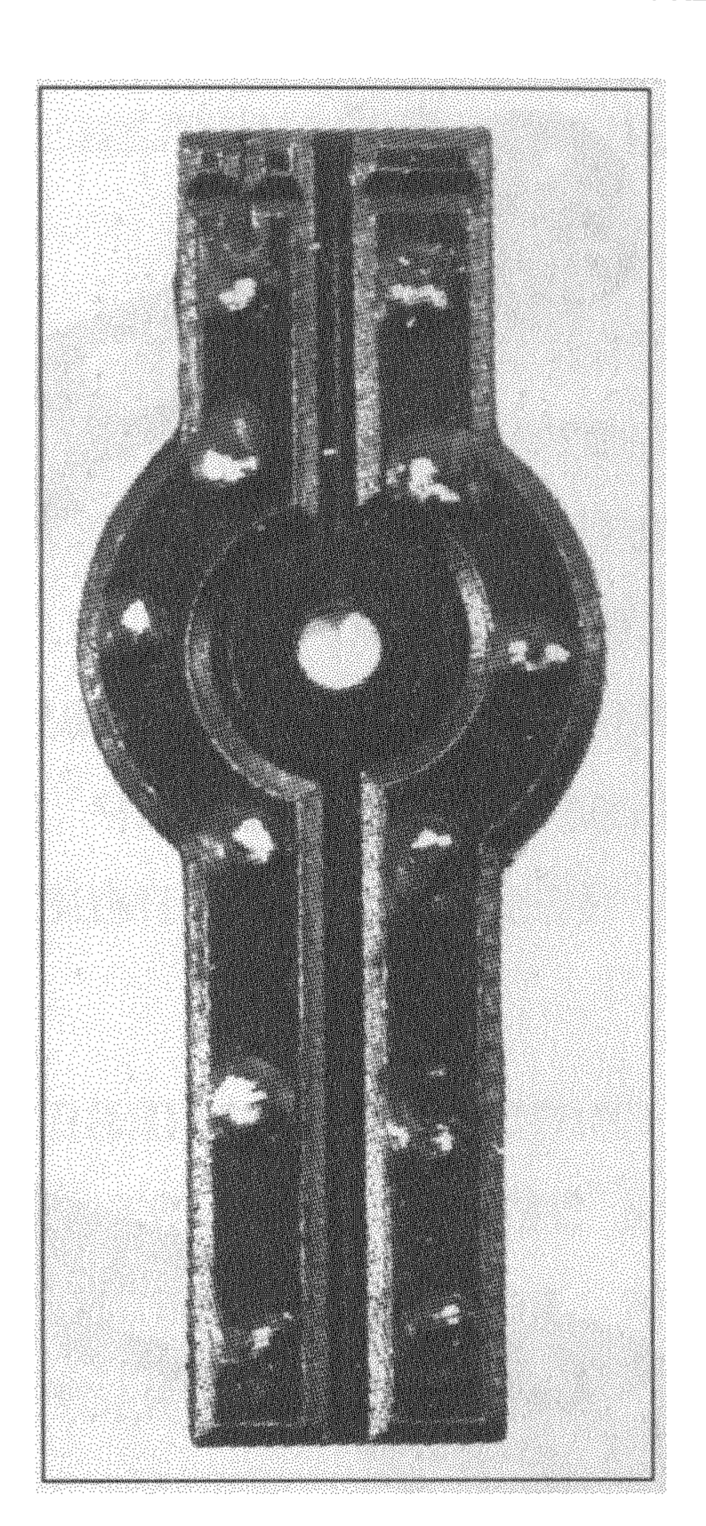


Рис. 3.8. Так выглядит наш распределитель теперь — мы нанесли несколько капель припоя и покрыли дорожки цапонлаком для изоляции

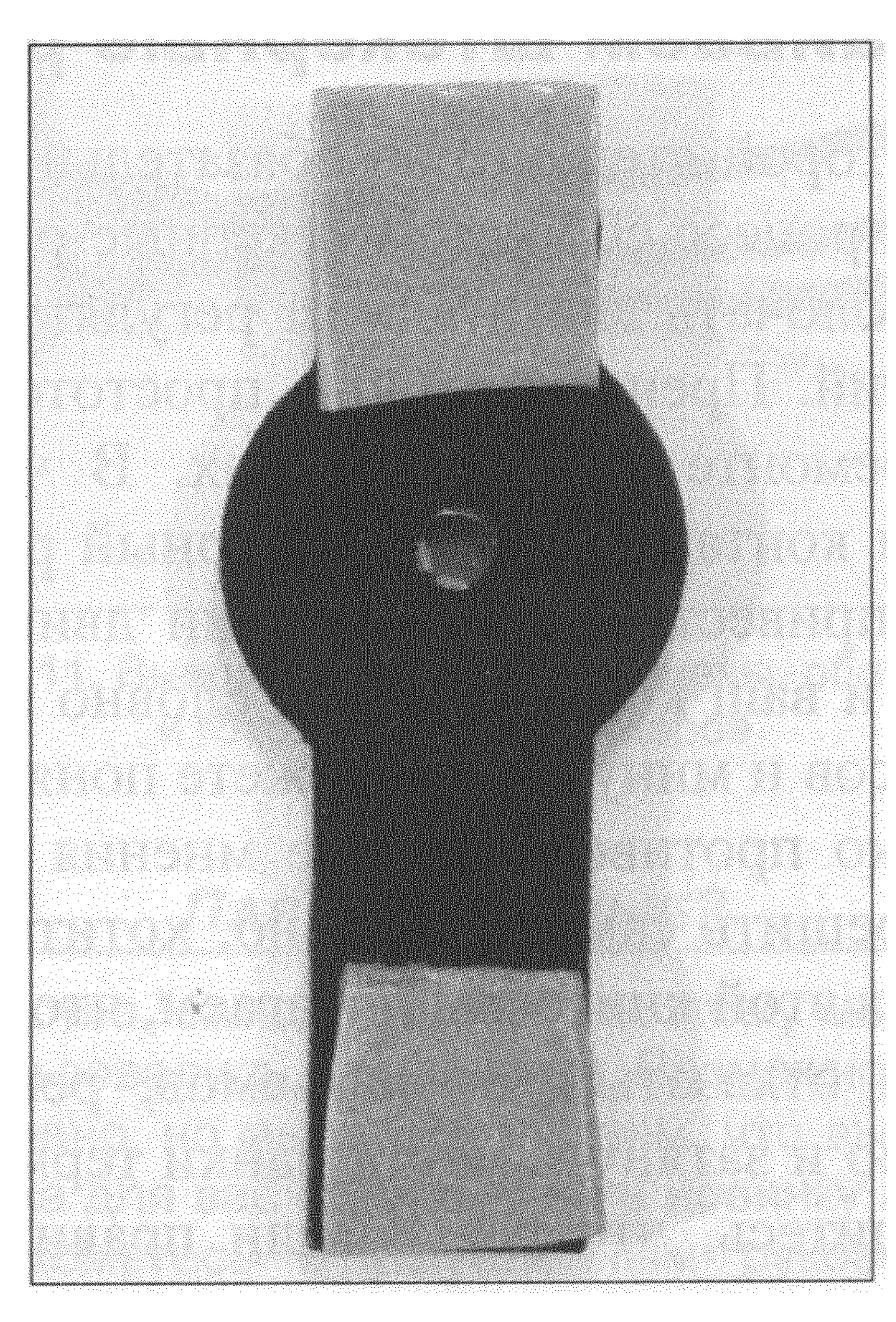


Рис. 3.9. Двусторонняя клейкая лента на обратной стороне распределителя

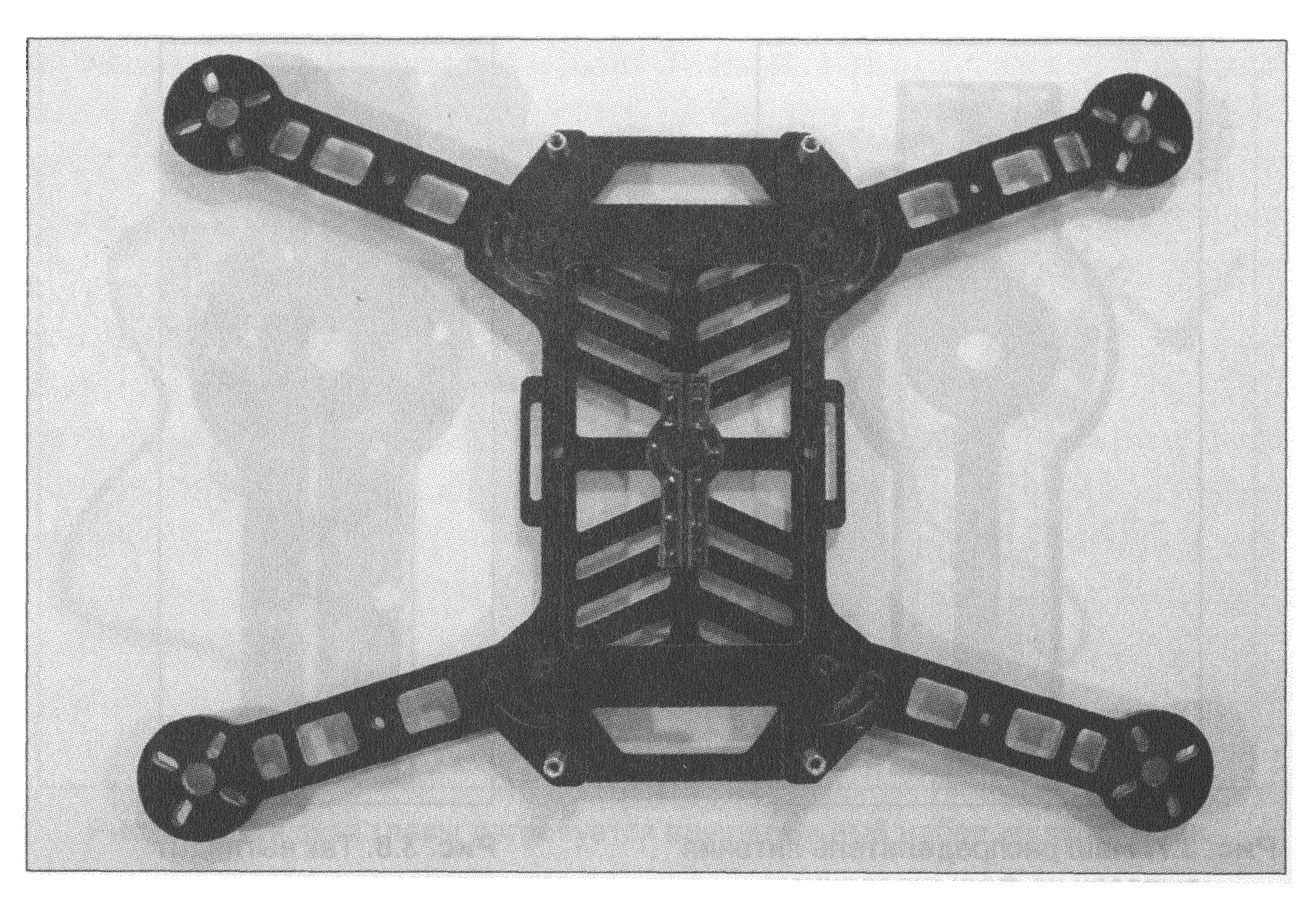


Рис. 3.10. Распределитель плотно прижат на свое место

Шаг 2: припаиваем штекерные разъемы

Этот шаг, в некоторой степени, не обязательный, но он существенно упрощает процесс сборки. Штекерные разъемы позволяют подключать и отключать двигатели от регуляторов, в отличие от паяных соединений. Преимущество в простоте коммутации при обслуживании, ремонте или доработках. В числе недостатков опасность потери контакта. Если штекерный разъем теряет контакт, это может привести к аварии (один двигатель из четырех останавливается, и ваш коптер падает, словно камень). С учетом упомянутых плюсов и минусов вы можете понять, почему разные люди имеют резко противоположные мнения на этот счет. Мы предлагаем вам решить самостоятельно, хотите ли вы использовать разъемы, но в этой книге мы полагаем, что они установлены. Если вы решили отказаться от разъемов, рекомендуем спаять провода напрямую и затянуть места пайки термоусадочной трубкой. Только убедитесь, что все спаяли правильно, прежде чем подать питание!

Доставайте свой зажим "третья рука" и включайте паяльник — пришло время браться за работу!

Штекерные разъемы, как и большинство прочих разъемов в подлунном мире, состоят из пары коннекторов: гнездо и штекер. Мы будем устанавливать штекерную часть на выводы двигателя, а гнездовую на выводы регулятора оборотов. Это общепризнанное наилучшее решение, поскольку на выводах регулятора присутствует выходное напряжение и гнездовая часть будет защищена термоусадкой от случайного короткого замыкания, если регулятор ни к чему не подключен.

Возьмите один из своих двигателей и удалите примерно 3,5 мм изоляции с конца каждого из выводов. Затем облудите кончики проводов при помощи небольшого количества припоя, взяв его на кончик паяльника и нанеся на зачищенные концы проводов (рис. 3.11).

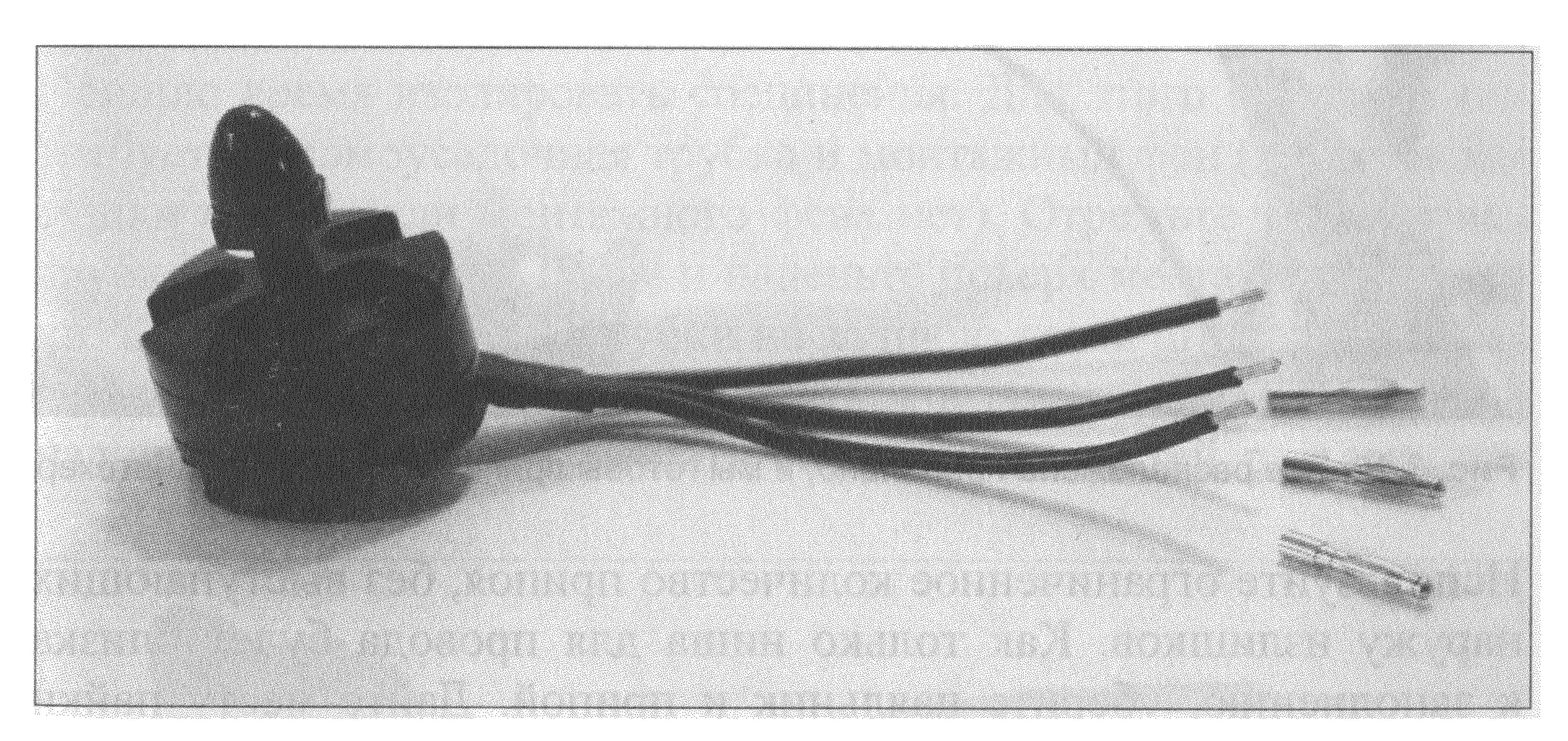


Рис. 3.11. Выводы двигателя зачищены, облужены и готовы к пайке штекеров

Паяете впервые?

Вы читаете руководство "самодельщика", поэтому мы рассчитываем, что вы уже когда-то пользовались паяльником. Возможно, только один раз, а может быть, ежедневно, но мы предполагаем, что вы понимаете, как это работает. Если пайка для вас совершенно в новинку или вы хотите освежить знания, ознакомьтесь с углубленным руководством на сайте: **http://gettingstartedwithdrones.com/soldering**.

Далее мы отправляемся за нашим зажимом "третья рука", чтобы с его помощью смонтировать штекерную часть разъема на выводы двигателя. Зажмите в одну клипсу штекер, а в другую лужёный вывод двигателя. Потратьте немного времени, чтобы удостовериться, что можете расположить обе эти детали в удобном положении для легкого доступа паяльником. Когда все размещено, как следует, прижмите паяльник с внешней стороны штекера, позволив ему нагреваться несколько секунд, прежде чем подать немного припоя внутрь отверстия для провода (рис. 3.12).

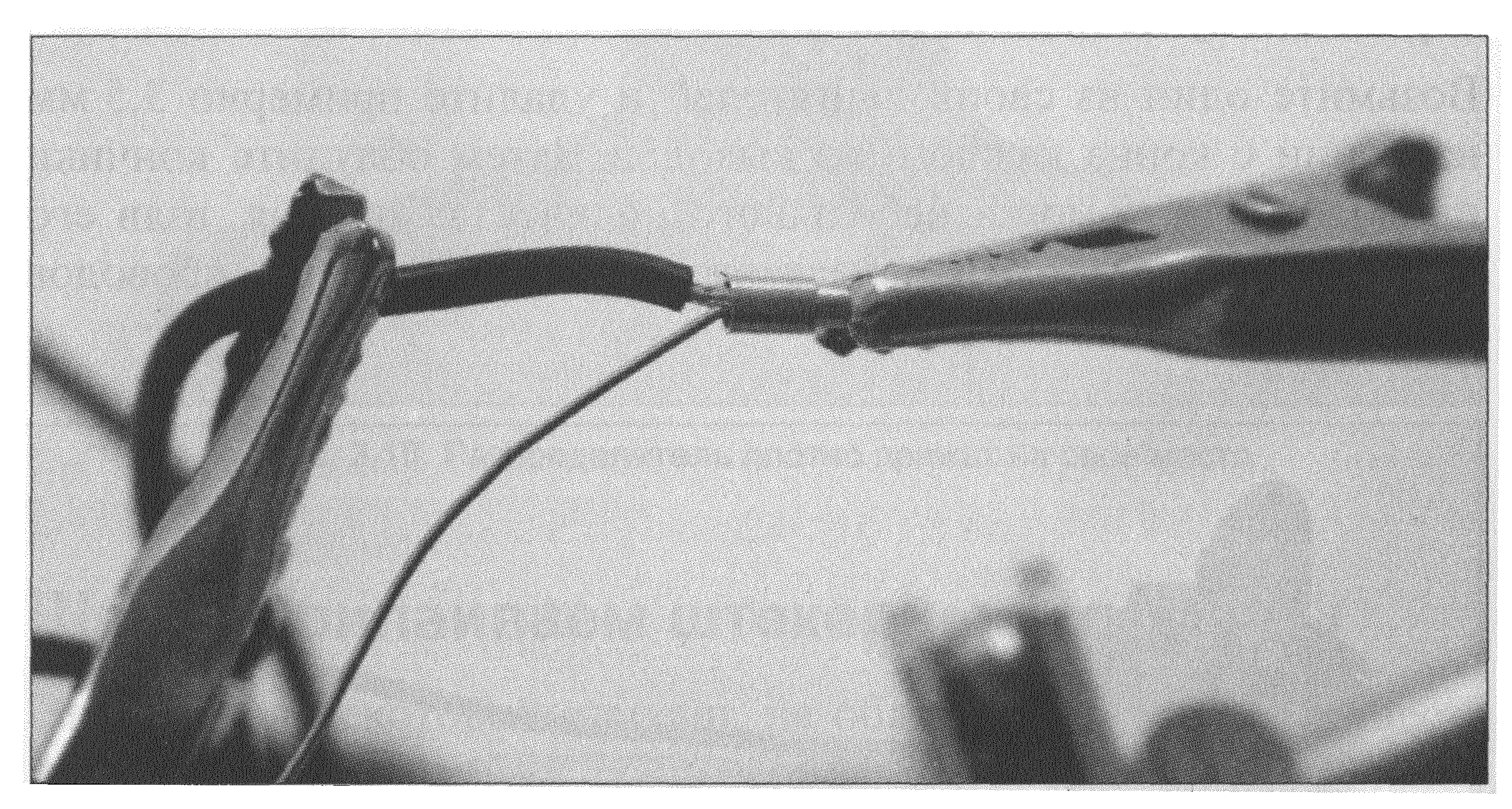


Рис. 3.12. Все расположено правильно, и мы готовы припаять наш первый штекер

Используйте ограниченное количество припоя, без выступающих наружу излишков. Как только ниша для провода будет близка к заполнению, уберите паяльник и припой. Дайте мѐсту пайки остыть в течение некоторого времени, прежде чем убрать его из зажимов (рис. 3.13).

Поздравляем: вы закончили первую пайку в этом квадрокоптере! Понравилось? Мы надеемся на это, потому что вас ждет множество дел. Давайте же ими займемся!

После остывания уберите провод со штекером из зажимов и повторите упомянутые шаги для оставшихся двух проводов и штекеров. Когда первый двигатель готов, повторите действия для трех остальных двигателей. По завершении у вас должно быть

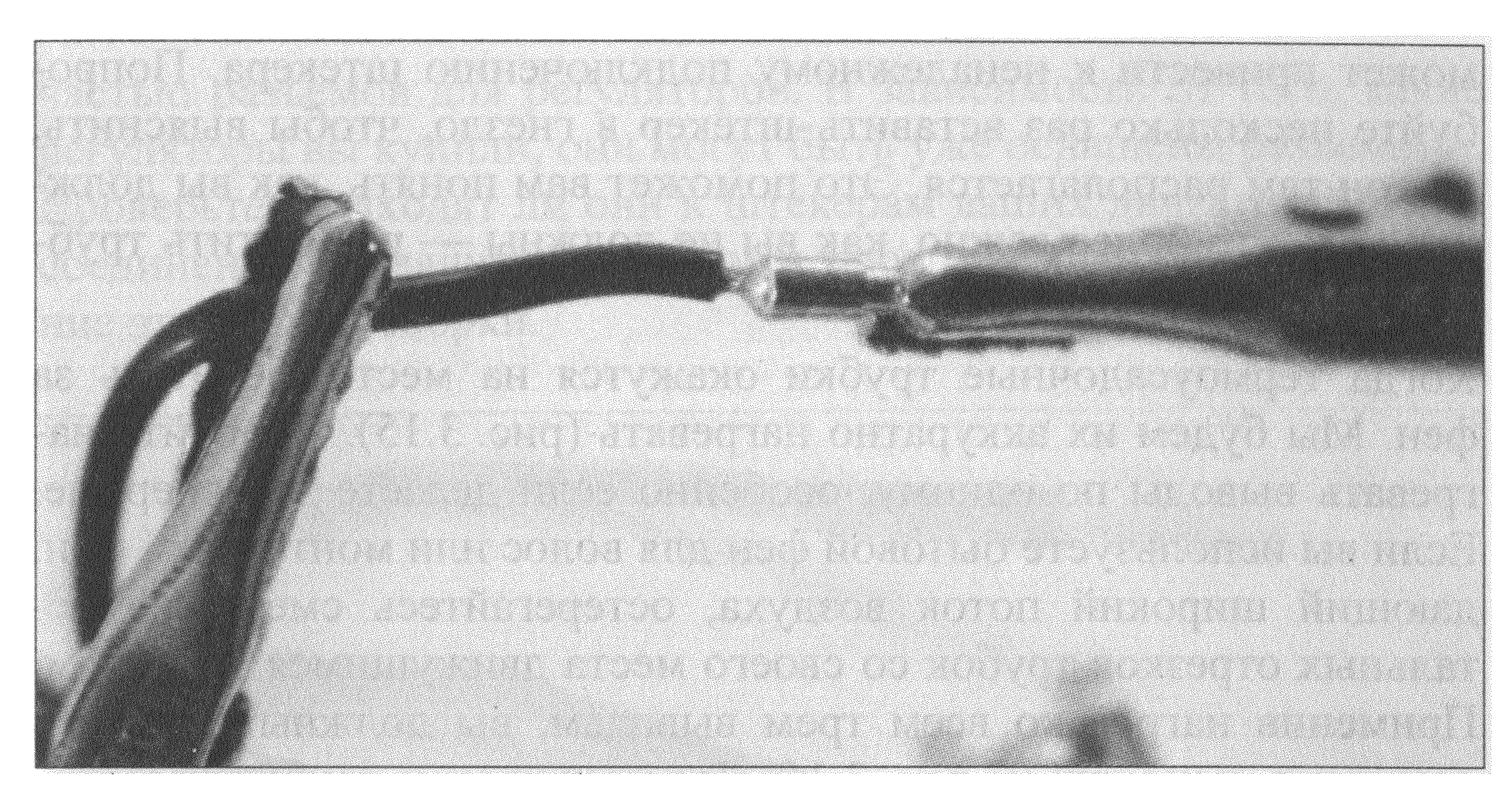


Рис. 3.13. Припой остывает, пока детали удерживаются "третьей рукой"

4 двигателя с 12-ю штекерами, припаянными к выводам двигателей.

Пришло время изолировать соединения. Для этого шага нам потребуется термоусадочная трубка и монтажный фен (или фен для сушки волос, если монтажного фена нет). Отрежьте три кусочка трубки длиной около 12 мм и наденьте поверх места каждой пайки. Вам следует надеть трубки на заднюю часть штекера, потому что передняя часть будет вставляться в гнездо (рис. 3.14). Если излишек трубки будет мешать соединению частей разъема, это



Рис. 3.14. Трубки на месте и готовы к усадке при помощи фена

может привести к ненадежному подключению штекера. Попробуйте несколько раз вставить штекер в гнездо, чтобы выяснить, как он там располагается. Это поможет вам понять, как вы должны — и, что более важно, как вы не должны — разместить трубки на соединениях.

Когда термоусадочные трубки окажутся на месте, беритесь за фен. Мы будем их аккуратно нагревать (рис. 3.15). Пробуйте нагревать выводы по одному, особенно если делаете это впервые. Если вы используете бытовой фен для волос или монтажный фен, дающий широкий поток воздуха, остерегайтесь смещения остальных отрезков трубок со своего места движущимся воздухом. Применив нагрев ко всем трем выводам, вы должны получить результат, похожий на рис. 3.16. Для усаживания трубки требуется несколько секунд. Как только она обтянет штекер и провод, можно двигаться дальше.

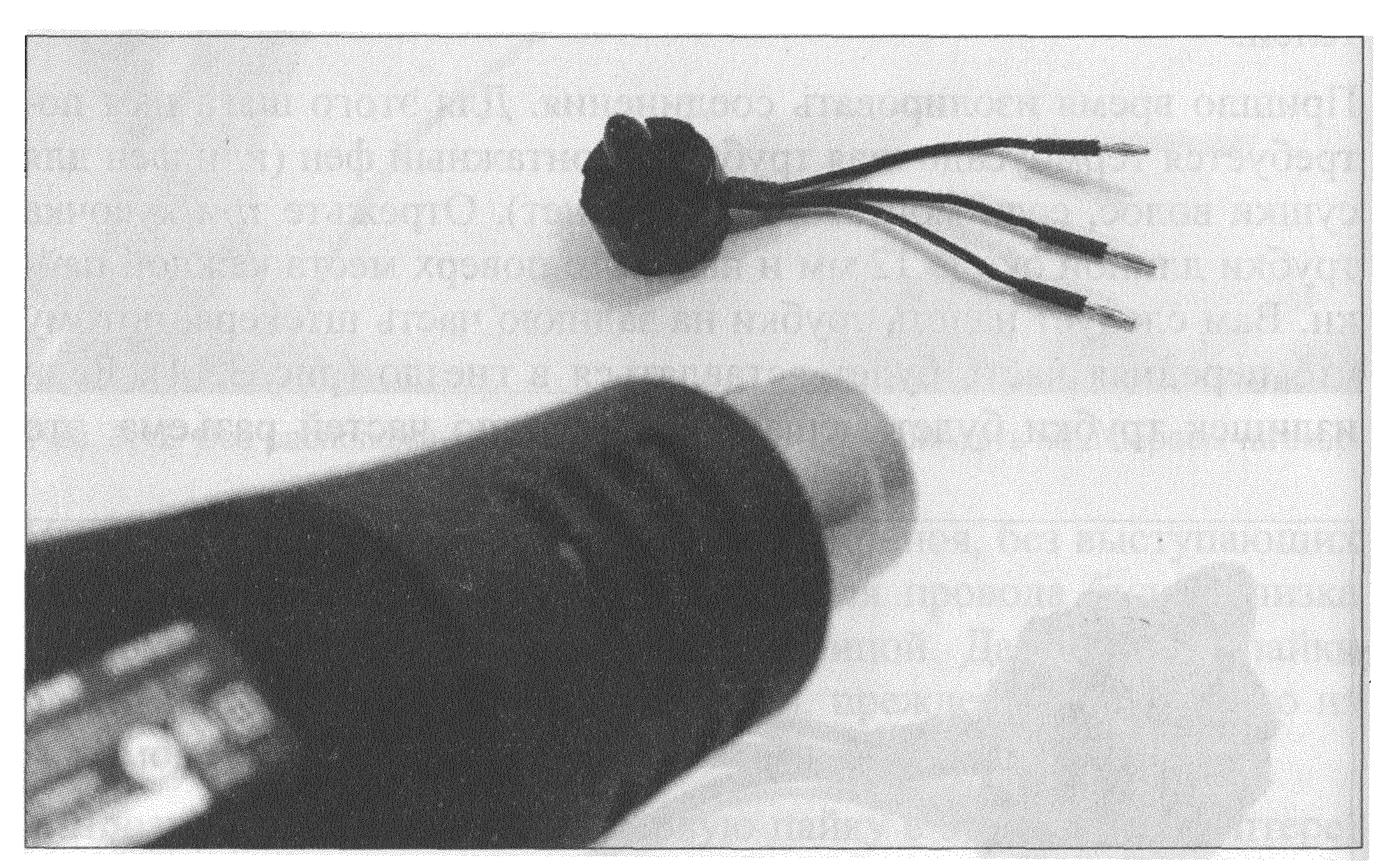


Рис. 3.15. Используем наш фен для усаживания изолирующих трубок

Мы достигли заметного прогресса. На данном этапе у вас есть четыре двигателя со штекерами, надежно припаянными к каждому выводу и аккуратно изолированными при помощи термоусадочной трубки. Теперь пора проделать то же самое с гнездовой

частью разъемов для регуляторов. В зависимости от того, какие регуляторы вы купили, они могут быть уже оснащены разъемами. Проверьте, подходят ли они к штекерам ваших двигателей. Если соединение выглядит надежным и плотным, пропустите окончание этого шага сборки.

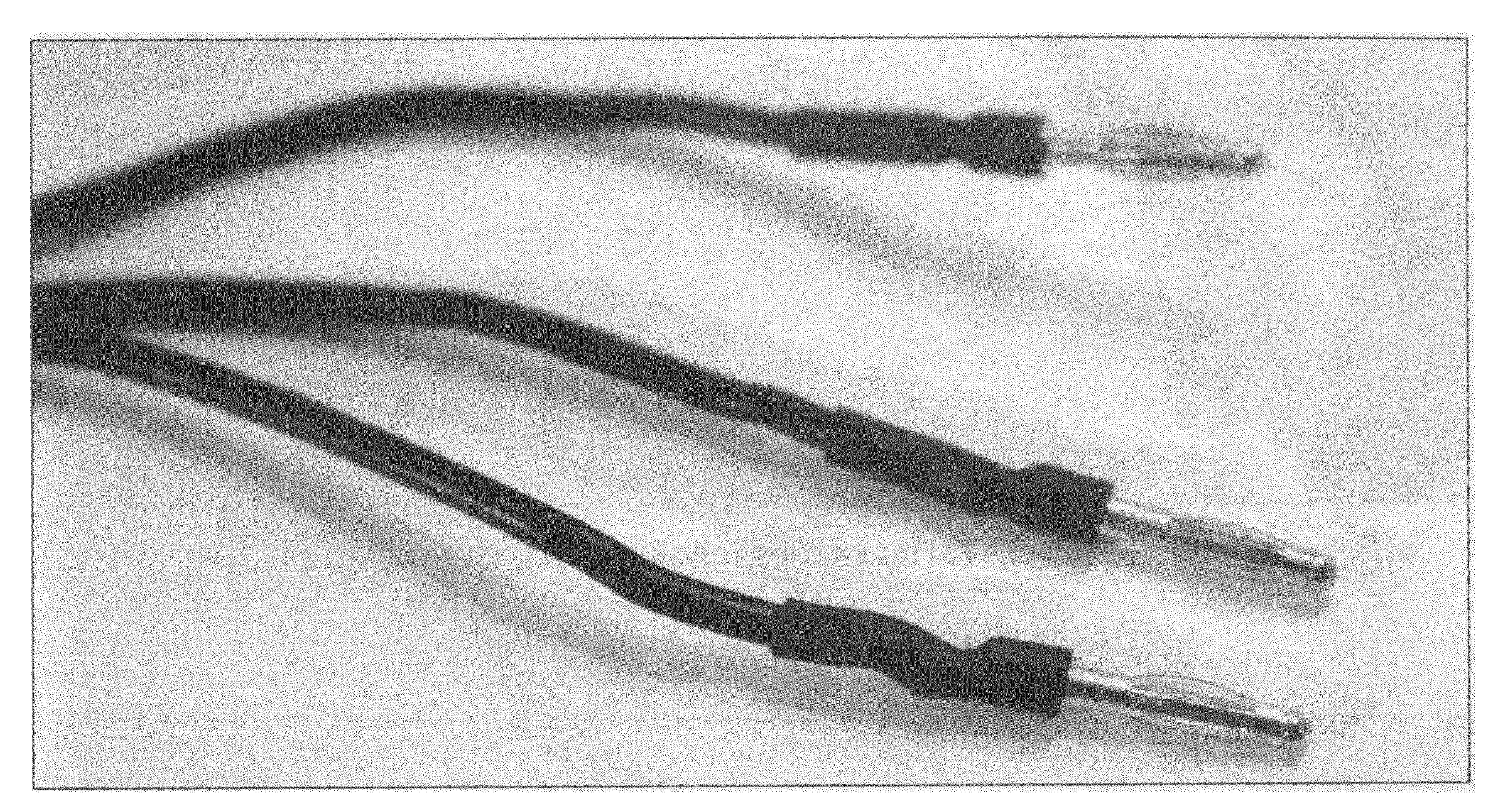


Рис. 3.16. Результат работы паяльником и феном

Как и в случае с двигателями, найдите три провода, выходящих из вашего регулятора (не те, которые с разъемом как для сервомашинки, а пустые), зачистите их примерно на 3,5 мм от изоляции и приготовьте провода к пайке. Мы проделаем совершенно те же самые шаги, что и для двигателей; различие лишь в том, что на этот раз мы будем припаивать гнездовые части (рис. 3.17). Перечитайте предыдущие шаги, если не уверены, что отработали этот навык достаточно хорошо.

После того как все коннекторы припаяны и готовы для изоляции, обратите внимание на различие в изолируемой области штыревой и гнездовой части. В отличие от отрезков 12 мм, которые вы применяли для изоляции штекеров, для гнездовых частей требуются отрезки длиной 25 мм или более (рис. 3.18). Термоусадочная трубка должна полностью закрывать коннектор, не выходя за внешнюю кромку, тогда как с противоположной стороны должна частично заходить на провод. Учитывайте, что при усадке немно-



Рис. 3.17. Пайка гнездовой части разъема

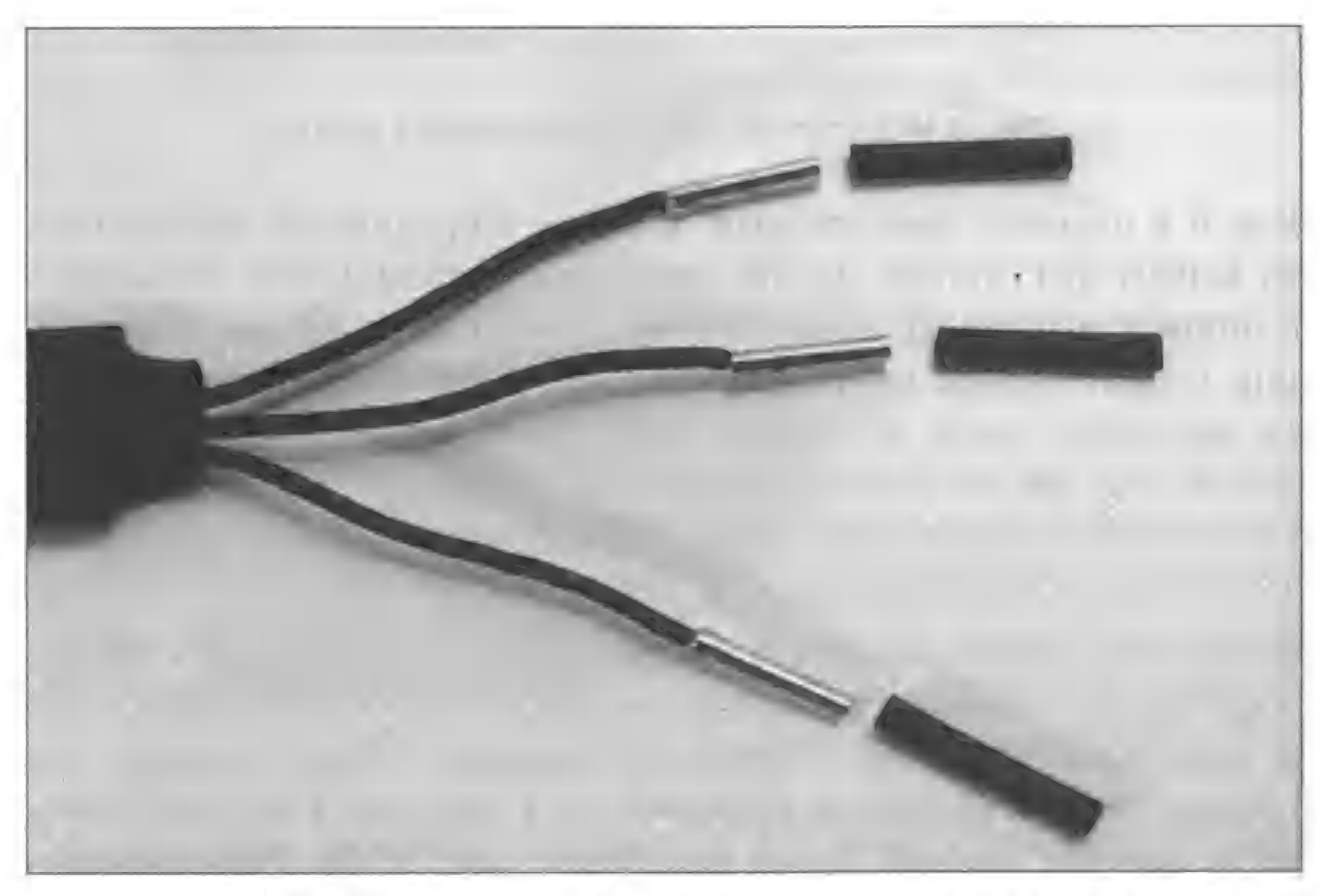


Рис. 3.18. Убедитесь, что отрезаете термоусадочную трубку нужной длины

го меняется длина трубки, поэтому она может сползти с края коннектора при нагревании. Обычно мы располагаем отрезок трубки так, чтобы он чуть-чуть выступал за кромку коннектора, идеально совмещаясь с кромкой после нагревания. Если используете этот прием и после усадки трубка будет слегка выступать за кромку, аккуратно срежьте при помощи бритвенного лезвия излишек, мешающий штекеру образовать прочное соединение (рис. 3.19).

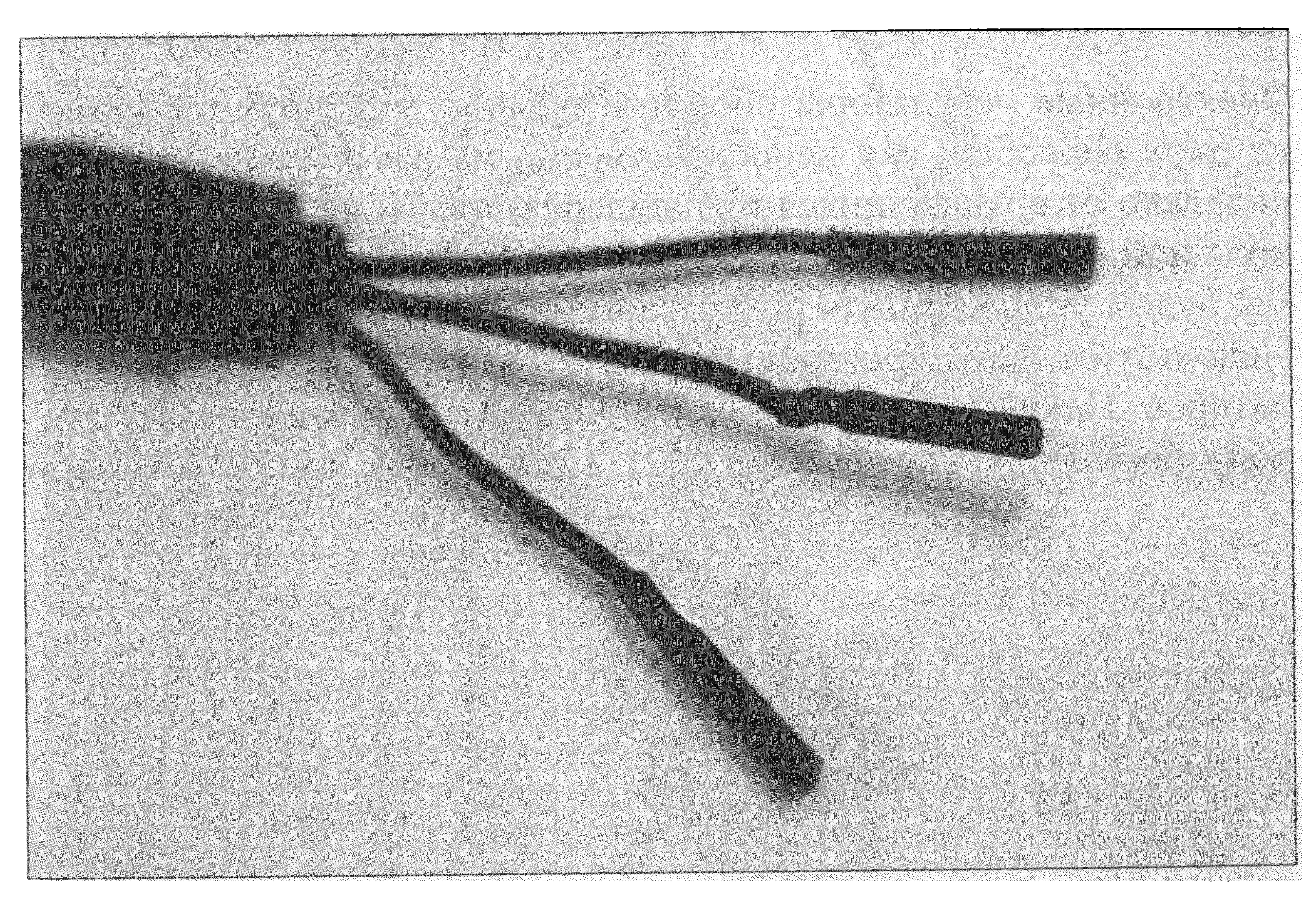


Рис. 3.19. После небольшого нагрева все разъемы нарядились в аккуратную одежду

На данный момент мы располагаем четырьмя двигателями со штекерами и четырьмя регуляторами оборотов с гнездовыми коннекторами. Если вы еще недостаточно довольны, давайте попробуем вставить одни части разъемов в другие и посмотрим, как это выглядит (рис. 3.20).

Фантастика — вы на правильном пути к монтажу силовой системы на ваш дрон. Теперь отложите в сторону все, что делали, и возьмите на кухне любимое лакомство. Вы это заслужили!

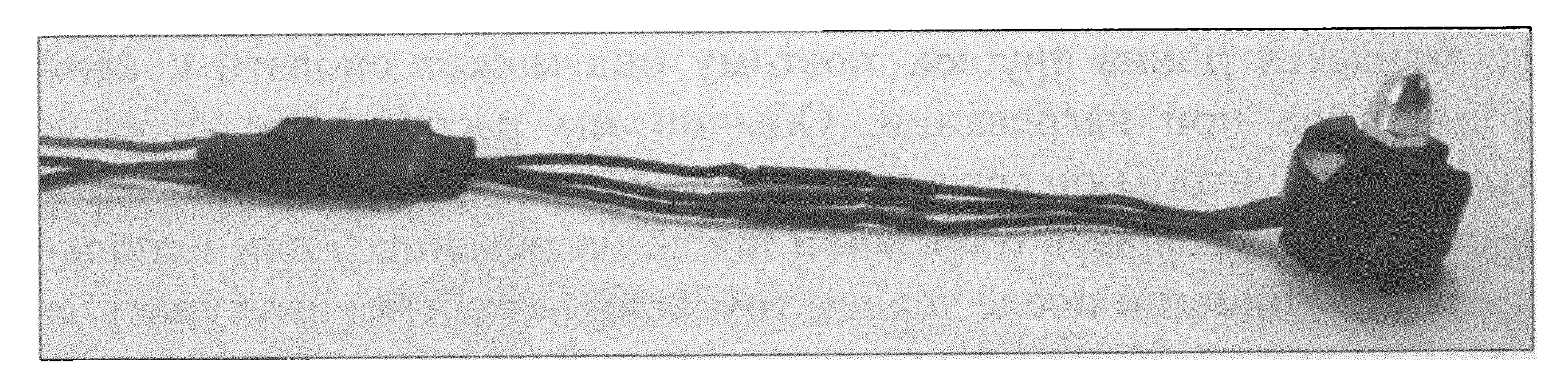


Рис. 3.20. Это успех: все подходит, словно сделано по заказу

Шаг 3: монтируем регуляторы оборотов

Электронные регуляторы оборотов обычно монтируются одним из двух способов: как непосредственно на раме, так и на лучах недалеко от вращающихся пропеллеров, чтобы их охлаждал нисходящий поток воздуха. Поскольку в нашей раме лучи складные, мы будем устанавливать регуляторы внутри "грязной" полурамы. Используйте двустороннюю клейкую ленту для крепления регуляторов. Наклейте полоску ленты длиной 10–12 мм на одну сторону регулятора (рис. 3.21 и 3.22). Посмотрите, какая из сторон

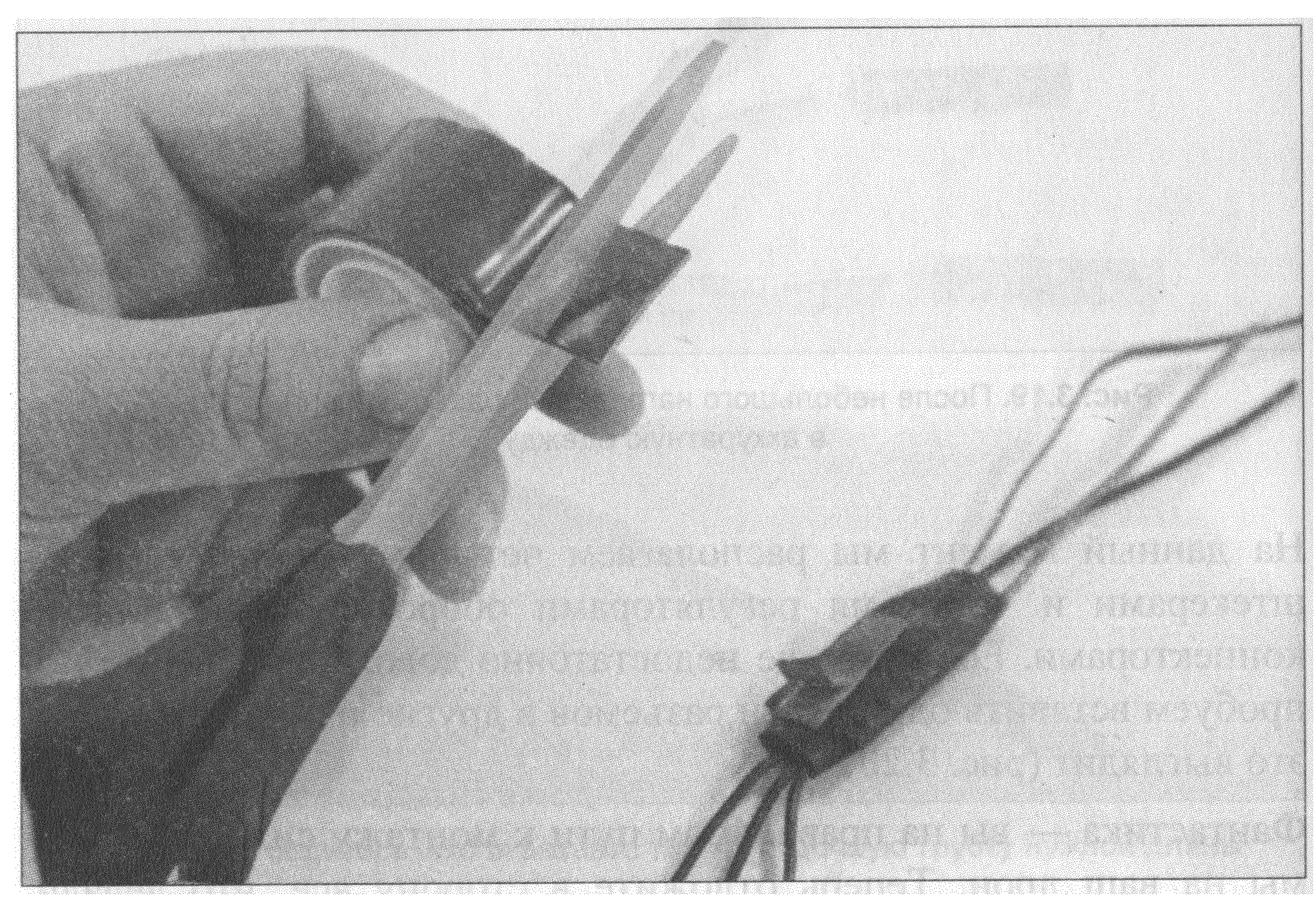


Рис. 3.21. Приклейте небольшую полоску двусторонней клейкой ленты на более ровную сторону регулятора

более ровная. Иногда у регуляторов есть большой круглый конденсатор, выпирающий с одной стороны. Если это относится к вашему регулятору, наклейте ленту на обратную сторону, чтобы конденсатор выступал вверх, а лента прилегала к возможно большей ровной поверхности.

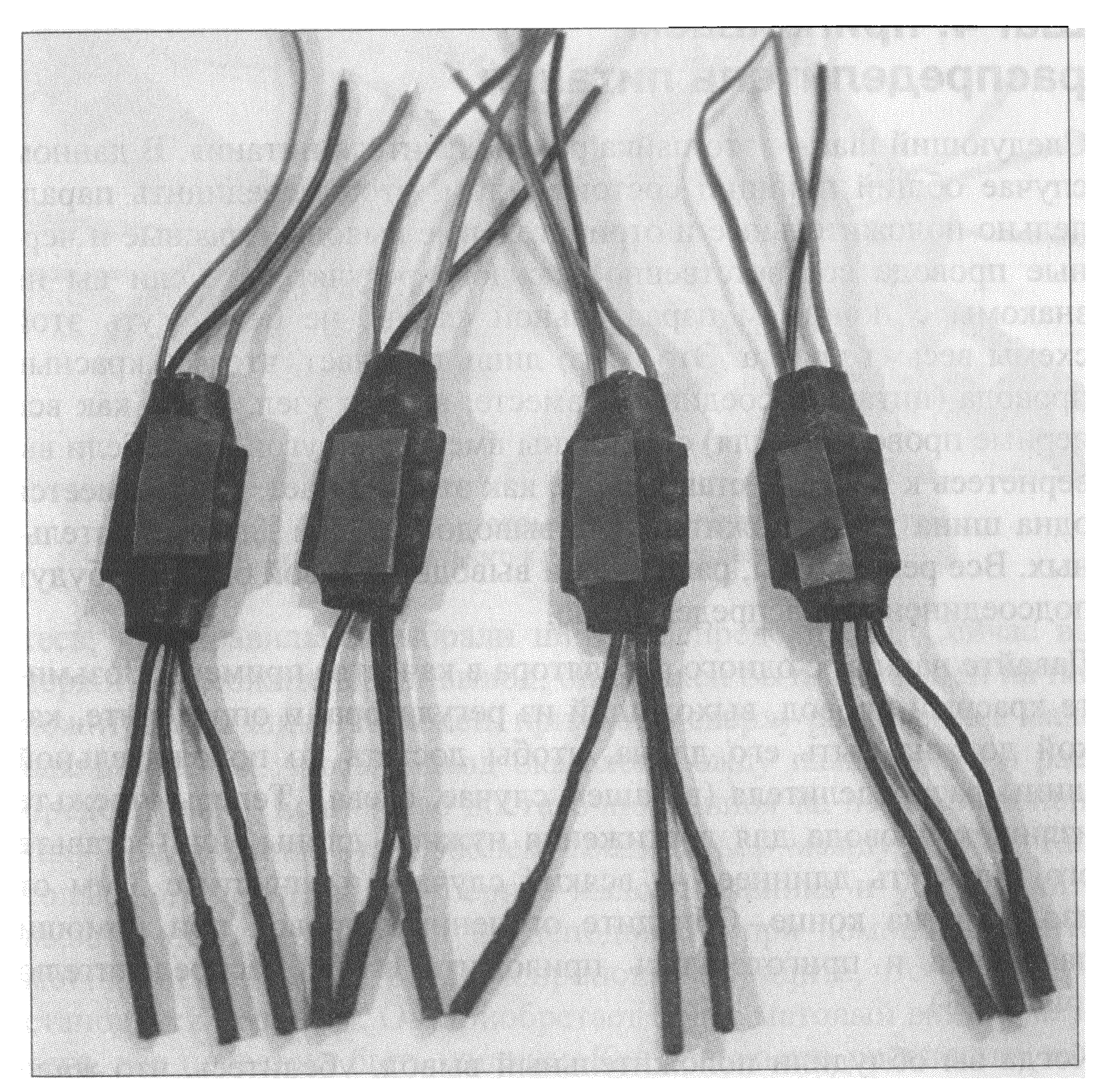


Рис. 3.22. Приклейте полоски на все четыре регулятора

Итак, лента наклеена на регуляторы, давайте разместим их на полураме. Возьмите регулятор и убедитесь, что защитная пленка удалена с клейкой ленты. Найдите свободное пространство на "грязной" полураме вокруг платы распределителя питания. Попробуйте мысленно разделить это пространство на четверти и поместите каждый регулятор на свое место. Красные и черные

провода питания, выходящие из регуляторов, должны быть направлены к центру рамы, тогда как выводы для подключения двигателей должны быть направлены наружу (см. рис. 6 и 7 на цв. вклейке).

Шаг 4: припаиваем распределитель питания

Следующий шаг — это пайка распределителя питания. В данном случае общий принцип состоит в том, чтобы соединить параллельно положительные и отрицательные выводы (красные и черные провода соответственно) каждого регулятора. Если вы не знакомы с понятием параллельной схемы, не беда. Суть этой схемы весьма проста. Это всего лишь означает, что все красные провода (питание) соединены вместе, в один узел, тогда как все черные провода (земля) соединены вместе в другой узел. Если вы вернетесь к рис. 3.8, станет ясно, как это работает. У нас имеется одна шина для положительных выводов и одна для отрицательных. Все регуляторы, равно как и выводы силовой батареи, будут подсоединены к распределителю.

Давайте начнем с одного регулятора в качестве примера. Возьмите красный провод, выходящий из регулятора, и определите, какой должна быть его длина, чтобы достать до положительной шины распределителя (в нашем случае, слева). Теперь отрежьте излишек провода для достижения нужной длины (или оставьте его чуть-чуть длиннее, на всякий случай) и зачистите 3 мм от изоляции на конце. Облудите оголенный провод при помощи паяльника и приготовьтесь приложить его к распределителю (рис. 3.23).

Когда вы облудили положительный вывод, убедитесь, что жало вашего паяльника гладкое и чистое, перед тем, как взять на него немного больше припоя. Теперь возьмите ваши пассатижи с длинными губками и удерживайте с их помощью вывод на шине распределителя в том месте, где собираетесь паять[1]. Убеди-

[1] Рекомендуется нанести на место пайки жидкий канифольный флюс или канифольную пасту. Категорически запрещается использовать кислотные флюсы! — *Прим. пер.*

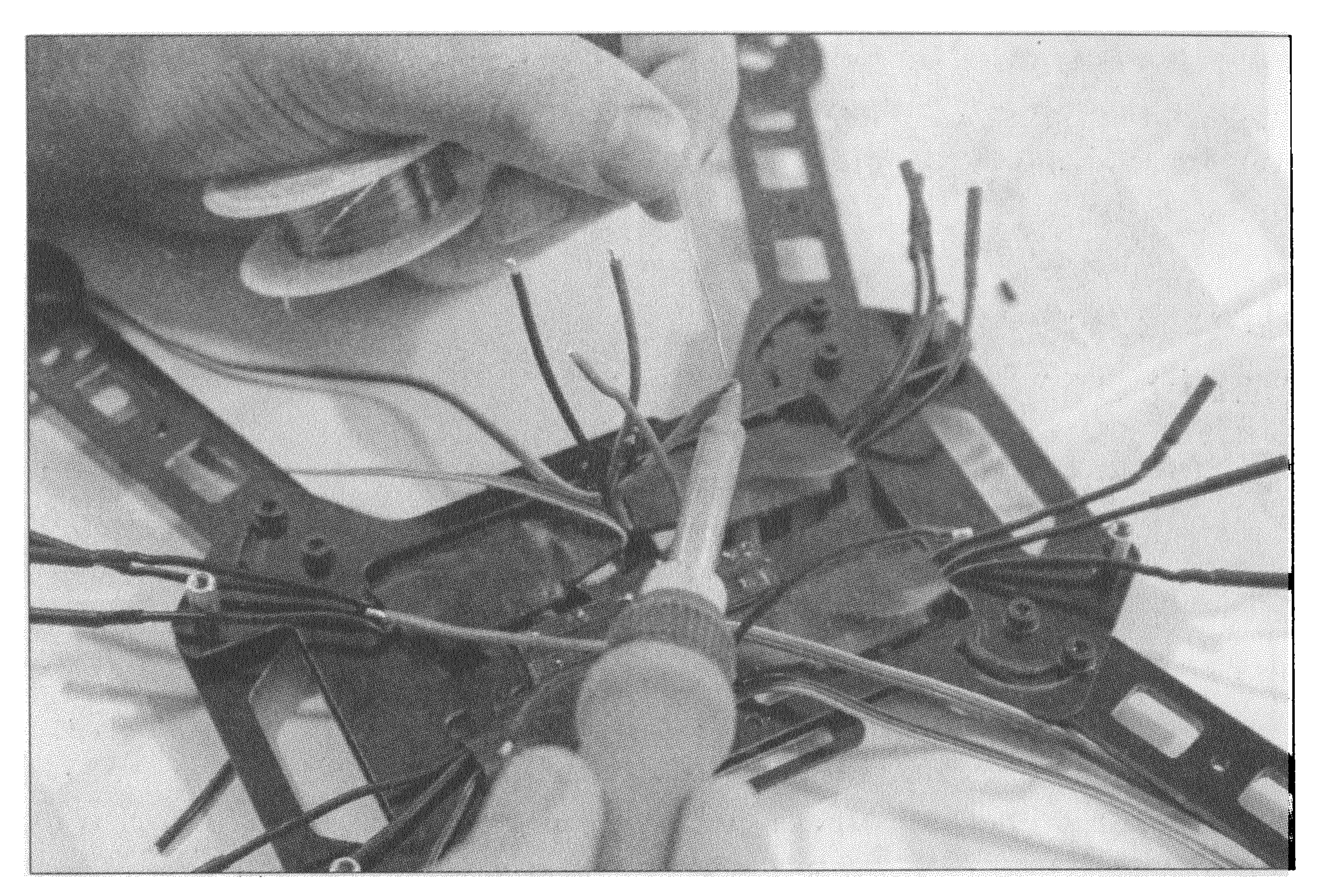


Рис. 3.23. Облуживаем первый вывод регулятора перед тем, как приложить его к плате распределителя

тесь, что правильно выбрали шину распределителя. Сейчас вы держите положительный вывод, он должен быть размещен на положительной шине. Наконец, прижмите сверху раскаленное жало паяльника так, чтобы вывод оказался между паяльником и распределителем. Если у вас достаточно припоя на всех компонентах, они должны без проблем соединиться между собой. Как только это произошло, уберите жало паяльника и удерживайте вывод еще несколько секунд неподвижно при помощи пассатижей. Если вы присмотритесь к припою, то увидите, что он быстро становится матовым. Он приобретает более матовый вид по мере того, как перестает быть жидким. Как только это произошло, можете убрать пассатижи и проверить соединение. Если окажется, что у вас ничего не вышло, повторите упомянутые шаги до тех пор, пока не получите надежную каплю припоя в точке пайки (рис. 3.24).

Когда вы припаяете первый положительный вывод, повторите эти же шаги для отрицательного вывода. Отличие лишь в том, что вы должны припаять его к отрицательной шине распределителя (в нашем случае, справа), как показано на рис. 3.25 и 3.26.

Рис. 3.24. Наш первый вывод припаян, и это выглядит, как надежное соединение



Рис. 3.25. Припаиваем отрицательный вывод тем же способом, убедившись, что присоединяем его к отрицательной шине, расположенной ближе к нижней части этого рисунка

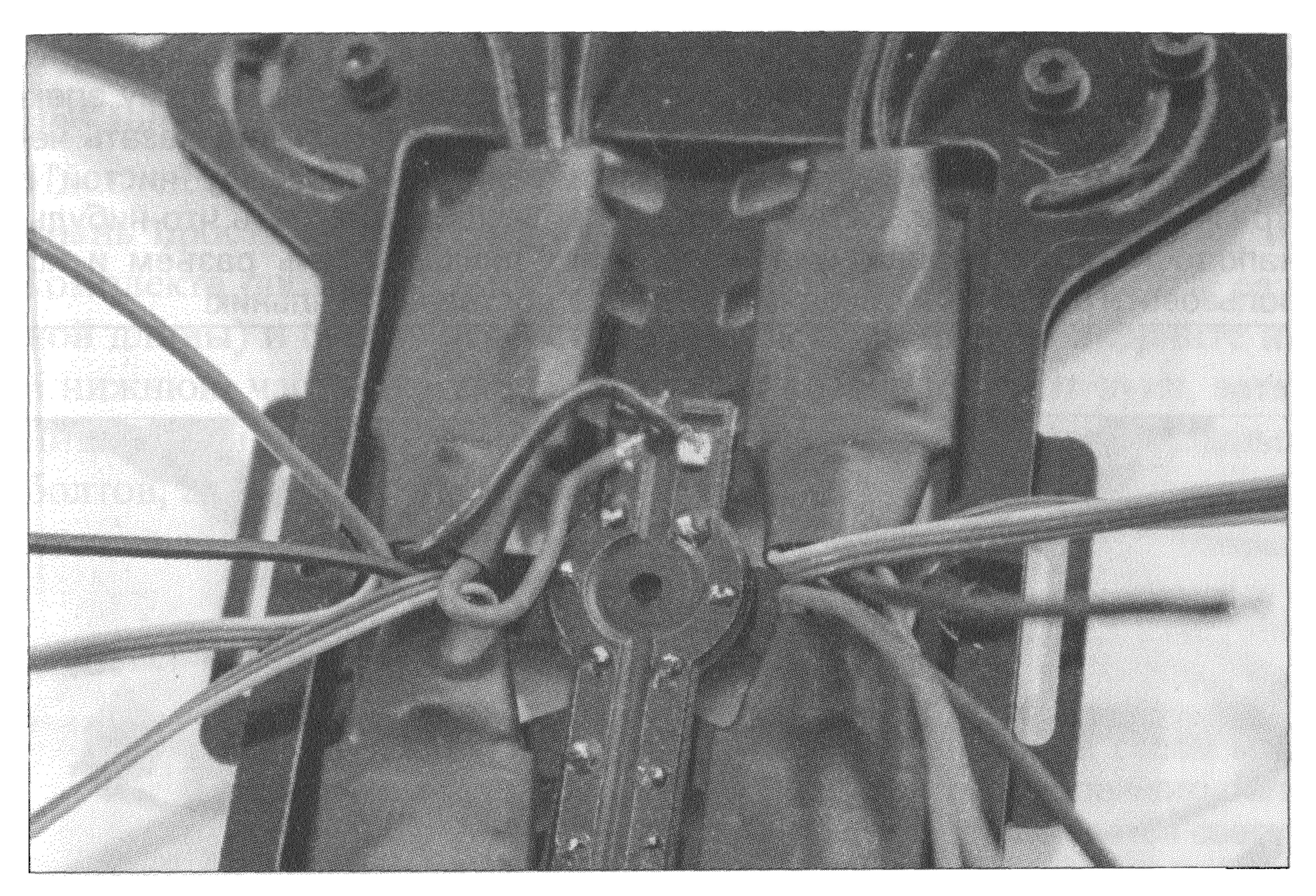


Рис. 3.26. Наш первый регулятор полностью готов получать питание через распределитель

Великолепно — ваш первый регулятор подключен к распределителю! Теперь проделаем остальную работу аналогичным образом (рис. 3.27). Следует потратить немного времени на обдумывание того, как вы уложите провода от всех регуляторов. Остерегайтесь отрезать один из проводов слишком коротко под предлогом экономии места. Лучше оставьте небольшой излишек провода.

Мы в основном закончили работу с паяльником. В вашей мастерской стало жарковато? Осталось припаять лишь основные выводы для подключения батареи. Они подключаются так же, как выводы регуляторов. Удалите немного изоляции, облудите кончики, удерживайте на месте пассатижами и нагрейте паяльником. Убедитесь, что припаяли выводы к нужным шинам, а капли припоя аккуратные и прочные.

ЧТО БУДЕТ ДАЛЬШЕ С ВАШИМ ДРОНОМ

Хотя вы только что установили определенное количество электронных компонентов, но кто знает точно, что будет с вашим дроном дальше? Было бы разумно проявить предусмотрительность и добавить сейчас на распределитель несколько неиспользуемых выводов питания для компо-

нентов, которые вы захотите подключить позже. На рис. 3.27 вы увидите, что мы поступили именно так. Попробуйте добавить в вашу схему электропитания стандартный разъем типа JST, который можно заказать через Интернет всего за несколько центов, и спрячьте его между "чистой" и "грязной" полурамами. Затем, если потребуется подключить что-нибудь, наподобие видеопередатчика, надо всего лишь извлечь разъем и использовать его. Нет необходимости снова доставать паяльник!

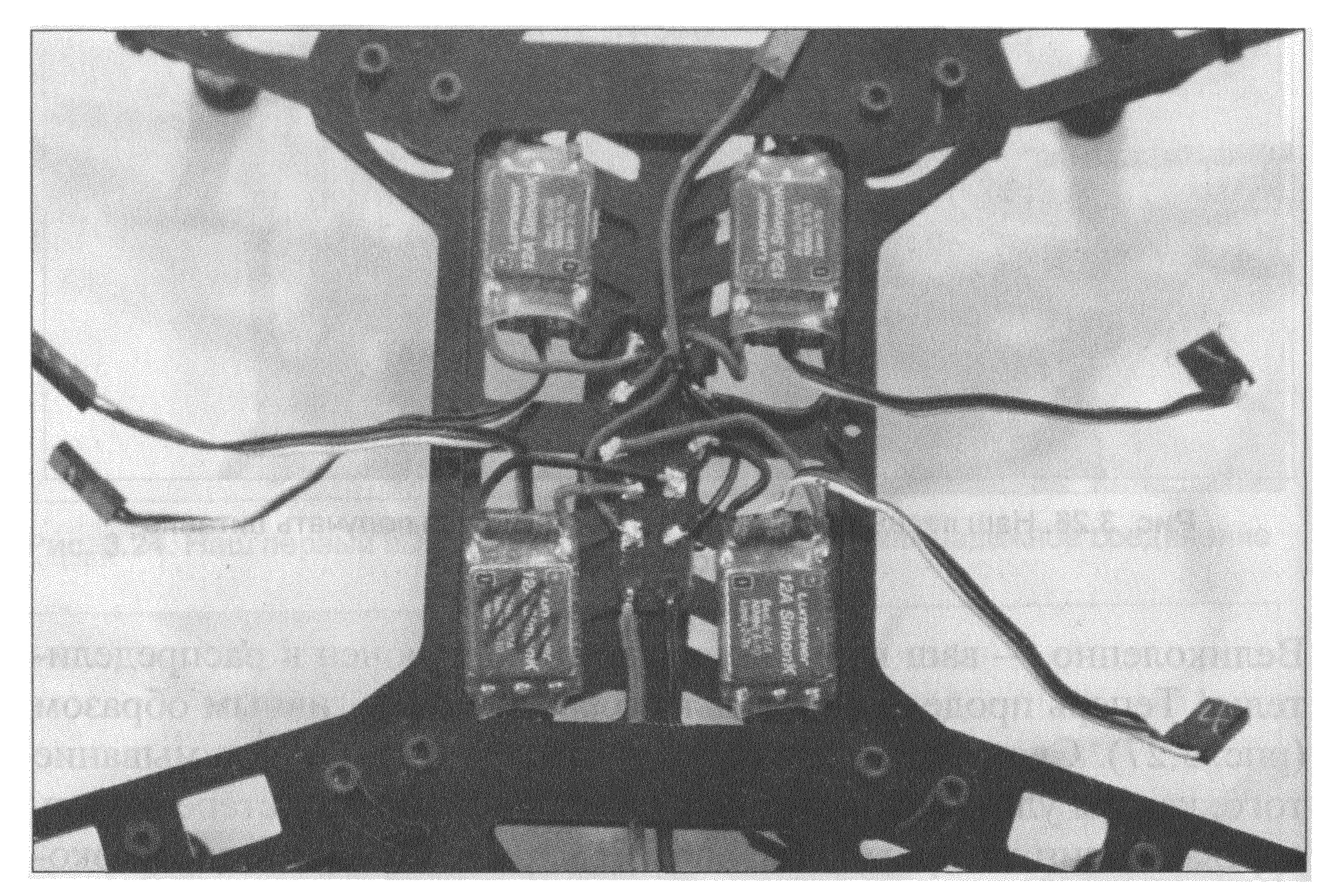


Рис. 3.27. Пример другой конструкции из нашей флотилии с регуляторами, полностью подключенными к распределителю

Шаг 5: монтаж бесколлекторных двигателей

Бесколлекторные двигатели для малых дронов, таких как Little Dipper, постоянно совершенствуются. Когда мы начинали писать эту книгу, на рынке были считанные варианты моделей, которыми пользовалось большинство любителей. Буквально несколько месяцев спустя их были уже десятки, и они постоянно продолжают добавляться. На фоне этого непрерывно меняющегося пейзажа мы даже не пытаемся дать конкретные инструкции по при-

менению определенной модели, напротив, излагаем лишь основные принципы, применимые ко всем существующим моделям.

Идея, лежащая в основе монтажа ваших двигателей на лучи, очень проста: найдите монтажные винты подходящей длины из комплекта поставки двигателя (в наличии могут быть винты разной длины) и сквозь отверстия в круглой части луча вверните их в нижнюю часть двигателя. Когда вы ввернули их от руки, затяните туго и поочередно пары из двух взаимно противоположных болтов, аналогично тому, как вы затягиваете гайки крепления колеса на автомобиле.



Обратите внимание на направление вращения!

Вал вашего двигателя удерживает пропеллер на своем месте. На валу нарезана резьба, и гайка определенного типа (именуемая *гайка-кок* или просто *кок*) наворачивается сверху и прижимает пропеллер. В первое время резьба на валу была только стандартная, по часовой стрелке. Поскольку двигатели мультикоптеров вращаются как по часовой стрелке, так и против нее, производители поняли — если выпустить двигатели с двумя типами резьбы на валу, можно сделать так, чтобы гайка самозатягивалась при вращении пропеллера. Удостоверьтесь, что вы всегда применяете двигатели таким образом, что направление резьбы противоположно направлению вращения пропеллера.

Двигатель, вращающийся по часовой стрелке, должен иметь обратную (левую) резьбу. Двигатель, вращающийся против часовой стрелки, должен иметь стандартную (правую) резьбу.

Одна загвоздка: не все производители двигателей идут по такому пути. Многие продолжают использовать только стандартную резьбу на всех своих двигателях. Это решение тоже будет работать хорошо; просто затягивайте гайки потуже и проверяйте чаще (как вы должны делать в любом случае)[1].

Мораль сей притчи в том, что всегда нужно проверять направление резьбы на валу и удостовериться, что вы ставите

---

[1] На некоторых специализированных двигателях для мультикоптеров применяется насечка на опорной площадке и прижимной поверхности гайки. Насечка надежно препятствует самоотворачиванию гайки при любом направлении вращения. — *Прим. пер.*

двигатель на правильное место. Если вам нужно проверить, на какое направление вращения пропеллера рассчитан двигатель, сделайте это до установки двигателя на раму.

В нашем дроне Little Dipper левый передний и правый задний двигатели вращаются по часовой стрелке, а правый передний и левый задний — против часовой стрелки.

Начните процесс сборки с прикладывания двигателя к верхней плоскости луча рамы и совмещения монтажных отверстий луча с резьбовыми отверстиями в нижней части двигателя (рис. 3.28). Убедитесь, что вы взяли двигатель с нужным направлением резьбы относительно направления вращения двигателя. Выводы двигателя должны располагаться только вдоль луча рамы, и никак иначе.

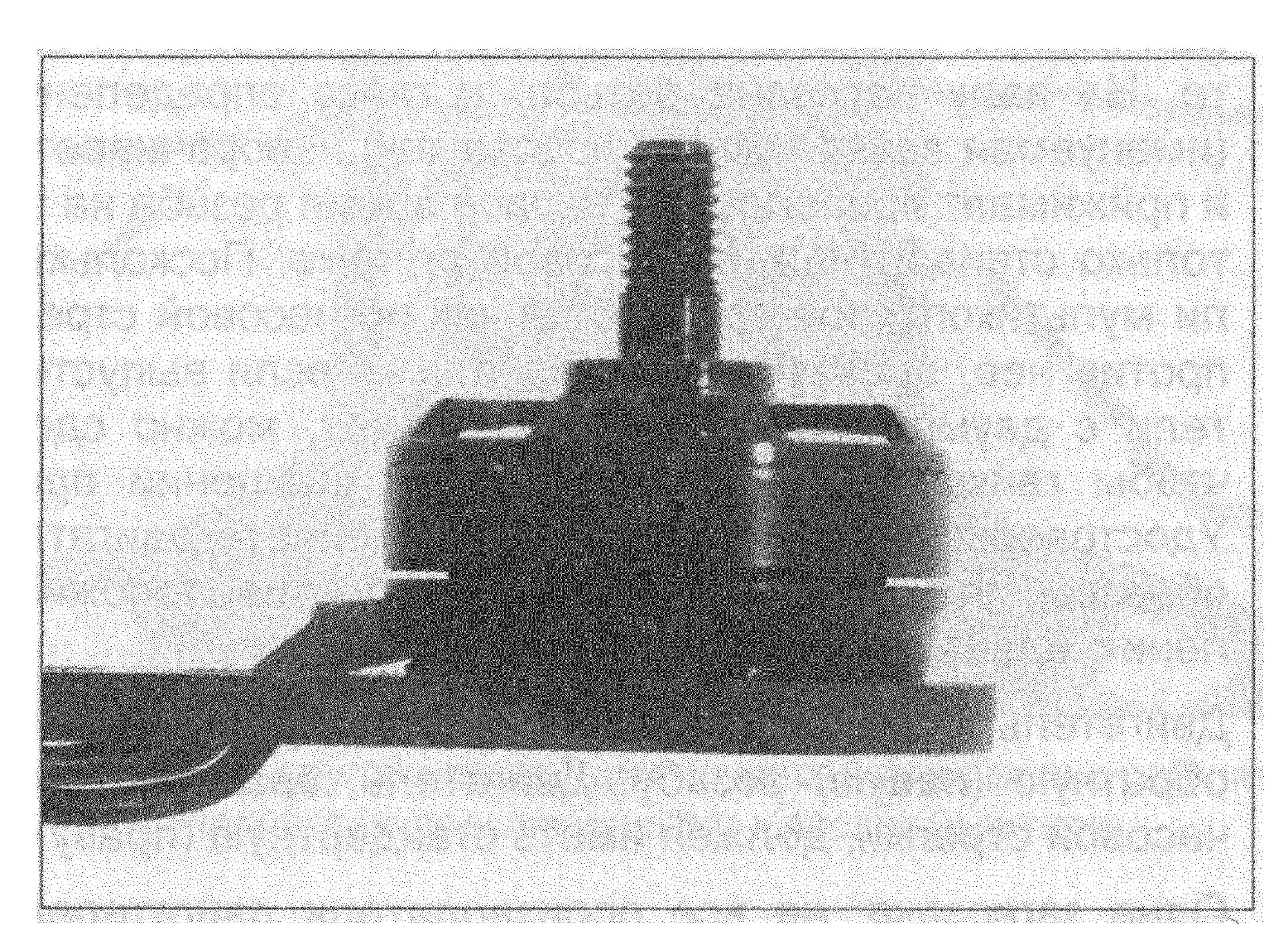


Рис. 3.28. Наш двигатель установлен ровно и готов к монтажу

Теперь вручную вверните первый винт через луч в двигатель. Затем вверните противоположный винт, и так, пока не ввернете все четыре винта на свое место (рис. 3.29).

Когда все винты ввернуты вручную, затяните их поочередно, протягивая попарно противоположные болты, аналогично тому, как протягивают крепление автомобильного колеса (рис. 3.30).

Итак, первый двигатель установлен, переходим к трем остальным. Не забудьте внимательно следить за направлением резьбы!

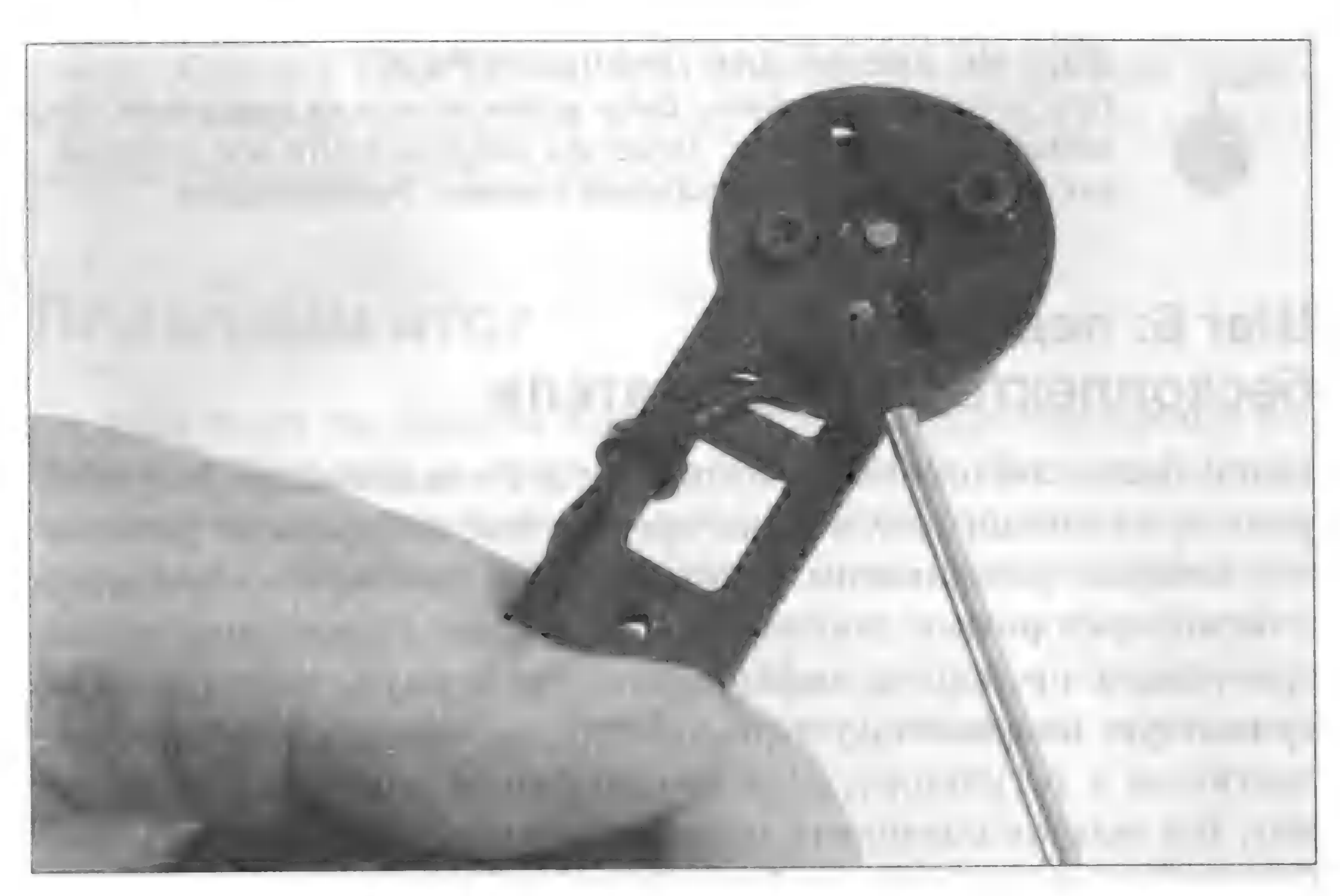


Рис. 3.29. Вверните винты попарно аналогично тому, как вы привинчиваете колесные гайки

Рис. 3.30. Протяните винты один за другим, чтобы убедиться, что все они затянуты



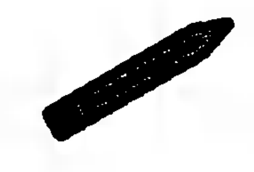
ЕЩЕ НЕ ВРЕМЯ ДЛЯ ПРОПЕЛЛЕРОВ!

Пропеллеры не должны быть установлены на двигатели. Это самый последний шаг, когда мы убедимся, что все работает, как должно. Это очень важный элемент безопасности.

Шаг 6: подключаем бесколлекторные двигатели

Наши бесколлекторные двигатели будут соединены с регуляторами при помощи трех черных проводов со штыревыми разъемами, которые установлены ранее. Если вы новичок в обращении с бесколлекторными двигателями, сейчас вы узнаете кое-что интригующее: провода не маркированы. Но этому есть причина. Не существует неправильного способа подключить бесколлекторный двигатель к регулятору, есть только разное направление вращения. Вы можете соединить провода в любой из возможных комбинаций, и это никогда не будет ошибкой в том смысле, что никогда не приведет к поломке двигателя; всего лишь направление вращения изменится на противоположное.

У нас только одна задача: сделать так, чтобы двигатели вращались в нужном направлении. Но, поскольку мы еще не завершили сборку, соедините провода в произвольном сочетании. Далее в книге мы разберем, что и как нужно будет проверить. Теперь стало ясно, в чем удобство использования разъемов! Если бы мы спаяли напрямую соединительные провода, менять соединение было бы намного труднее!



Если вы собираете что-либо, отличающееся от конструкции нашего примера, обратитесь к инструкции для своего бортового контроллера (автопилота), чтобы определиться с направлением вращения двигателей.

Шаг 7: наведение порядка

Теперь самое время навести порядок в своем устройстве и аккуратно уложить провода. Полезно также промаркировать серворазъемы на проводах сигнала управления, идущих от регуляторов, до того как "застегнуть все пуговицы пальто". Это сущест-

венно облегчит вашу жизнь при выполнении следующих действий. Обычно мы используем тонкий маркер или цветную ручку и пишем номер двигателя на разъеме регулятора.

Подводим итог

На этом этапе вы должны иметь полностью смонтированные регуляторы скорости и двигатели. Все должно быть закреплено прочно, без риска потерять что-либо. Проверьте также пайку распределительной платы, чтобы убедиться, что ни одно соединение не пропущено. Соединение между двигателями и регуляторами на этом этапе считается временным. Мы вернемся к вопросу подключения двигателей позже, когда будут установлены все компоненты.

4/Бортовой контроллер

Что такое бортовой контроллер?

Если коротко, бортовой контроллер (полетный контроллер) — это мозг вашего дрона. Он определяет состояние вашего летательного аппарата, опрашивая массив датчиков сотни раз в секунду, а затем вносит микроскопические мгновенные изменения в работу каждого двигателя, чтобы обеспечить стабильное положение дрона в воздухе. Задумайтесь, что происходит, когда вы идете по улице? Вы ведь не обдумываете каждое изменение походки по причине неровностей дороги или встречного ветра. Вы просто идете, но ваш мозг обдумывает все детали и выполняет вычисления, в то время как вы скомандовали "вперед". Бортовой контроллер ведет себя аналогичным образом. Когда вы даете дрону команду двигаться вперед со скоростью 10 миль в час, контроллер получает вашу основную команду и раскладывает ее на сотни команд в секунду для каждого двигателя, чтобы исполнить полученное указание. Если дрон сталкивается с неким сопротивлением, таким, как лобовой ветер, контроллер вносит необходимые изменения, чтобы продолжить выполнять команду без вмешательства пилота.

Открытые проекты против закрытых проектов

Вы можете разделить все бортовые контроллеры в мире на две категории: открытые проекты и закрытые проекты. К популярным открытым проектам относятся APM (ArduPilot), Open Pilot[1]

---

[1] Начиная с 2015 года, проект развивается под названием Libre Pilot. — *Прим. пер.*

CC3D, Sparky и различные варианты MultiWii. Любой желающий может скачать исходные коды и необходимое для компиляции программное обеспечение и пользоваться ими. Мы настоятельно советуем вам потратить немного времени на ознакомление со всеми этими проектами. Все они собрали вокруг себя великолепные сообщества, где вам предложат обширнейшую базу знаний касаемо БПЛА.

Закрытые проекты представлены во всех вариантах конфигурации. Одними из наиболее популярных моделей являются как Wookong и Naza от DJI, так и Super-X и Mini-X от X-Aircraft. Эти системы являются проприетарными и не дают обычному пользователю шанса модифицировать код программы самостоятельно.

Датчики

Сердцем бортового контроллера является *блок инерциальных измерителей* (рис. 4.1). Этот блок содержит набор датчиков, позволяющий контроллеру следить за поведением летательного аппарата. Обычный набор состоит из акселерометра, гироскопа и барометра. Они измеряют линейное ускорение, угловое ускорение и давление воздуха (которое часто преобразуется в высоту полета).

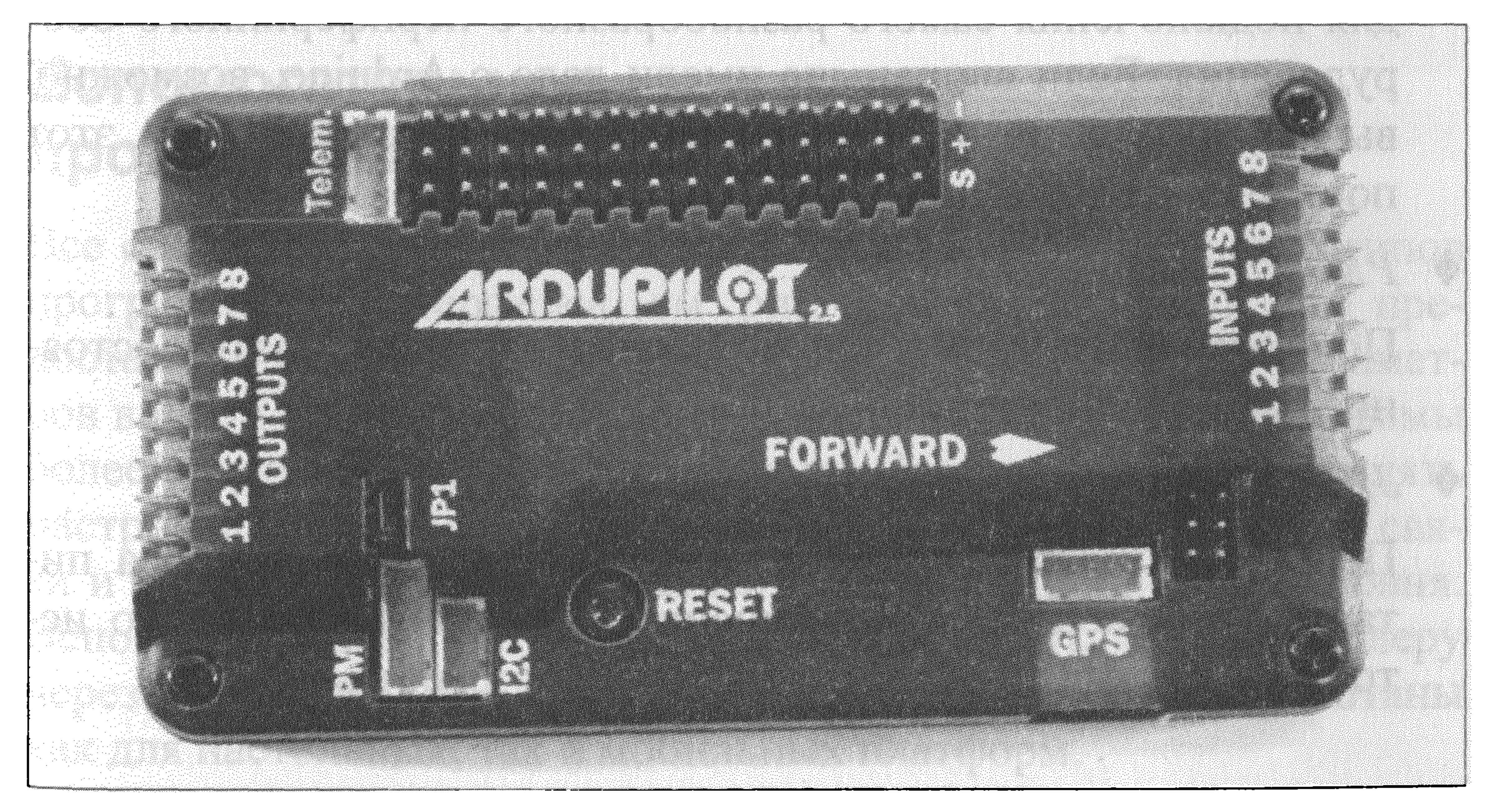


Рис. 4.1. Этот бортовой контроллер содержит встроенный блок инерциальных измерителей и порты для подключения внешних датчиков

Эти три датчика предоставляют всю информацию, необходимую для стабилизации летательного аппарата.

Для расширения функциональных возможностей применяются дополнительные датчики. Они включают в себя приемники GPS, магнитометры, оптические датчики перемещения и датчики скорости потока воздуха[1]. Прогресс не стоит на месте, со временем появится еще больше датчиков, встроенных в бортовой контроллер и решающих такие задачи, как обнаружение и предотвращение столкновений в воздухе, компьютерное зрение и искусственный интеллект.

Рассмотрим назначение выводов бортового контроллера APM.

- *Входы 1–8 (INPUTS).*

  Эти порты подключаются к приемнику радиоуправления. Он принимает команды, поступающие с земли, и отправляет их на APM.

- *GPS.*

  Этот порт будет подключен к нашему приемнику GPS.

- *I2C.*

  Это стандартная последовательная шина данных, применяемая для подключения самого разнообразного периферийного оборудования. Если вы раньше имели дело с Arduino, возможно, вы знакомы с протоколом I2C. Мы будем использовать этот порт для подключения внешнего магнитометра.

- *PM.*

  Порт модуля питания. Он позволяет контролировать состояние источника питания.

- *JP1.*

  Перемычка для подключения встроенного стабилизатора питания. При использовании внешнего стабилизированного источника питания эту перемычку следует удалить.

---

[1] Авторы забыли упомянуть такой популярный и недорогой датчик, как ультразвуковой сонар для измерения высоты полета. — *Прим. пер.*

- *Выходы 1–8 (OUTPUTS).*

  Эти порты выдают сигнал для управления регуляторами оборотов. Либо, если вы используете APM на модели самолета или для управления подвесом камеры, к этим выходам могут подключаться сервомашинки или входы подвеса камеры.

- *Telem.*

  Сюда подключается наша система радиотелеметрии.

- *A0–A11.*

  По аналогии с Arduino, это назначаемые пользователем аналоговые входы. В данной книге не рассматриваются.

Лётные характеристики

Все полетные характеристики в той или иной степени настраиваются, и каждый бортовой контроллер хранит свой набор характеристик в таблице. Некоторые контроллеры настроены на очень спокойный и плавный полет и больше подходят для операторов аэрофото- и видеосъемки с больших летательных аппаратов. Другие могут быть более шустрыми и давать более резкий отклик на управление, как, например, в случае гонок с обзором по FPV (first-person view, вид от первого лица).

Вспомогательное программное обеспечение

Все современные бортовые контроллеры имеют несколько типов программного интерфейса (см. рис. 8 на цв. вклейке). Это предоставляет пользователю доступ ко множеству важных параметров внутри контроллера. Некоторые вспомогательные программы более продуманные, чем остальные. Они позволяют управлять настройками конфигурации летательного аппарата, каналами связи и параметрами обратной связи системы стабилизации уровня. Вспомогательные программы могут подключаться к контроллеру через Bluetooth, USB или по каналу телеметрии и разработаны как для настольных, так и мобильных платформ.

Приложение, которое мы будем использовать, называется Mission Planner и содержит встроенную наземную станцию контроля по-

летов. Она позволяет приложению отображать важную информацию, отсылаемую с бортового контроллера, например: текущие координаты и показания датчиков. Доступ к этим данным во время полета может быть чрезвычайно полезен во время некоторых типов полета — таких, как картография или сельскохозяйственные наблюдения — и действительно помогает при возникновении различных проблем.

Если вы собираете квадрокоптер по описанию в нашей книге, скачайте приложение Mission Planner: **http://ardupilot.com/downloads/**. Если вы используете компьютер от Apple, попробуйте использовать APM Planner.

Пошаговые инструкции

Для этого этапа сборки вам потребуются:

- около 2,5 см двусторонней клейкой ленты;
- ножницы;
- тонкий маркер;
- маленькие нейлоновые стяжки.

Шаг 1: устанавливаем бортовой контроллер

Бортовой контроллер APM будет смонтирован на нижнюю пластину "чистой" полурамы. Воспользуйтесь двумя кусочками двусторонней клейкой ленты на каждом конце контроллера, чтобы прочно прикрепить его на раму (рис. 4.2 и 4.3). Старайтесь отрезать не слишком большие куски ленты, чтобы избежать трудностей с ее удалением в будущем. Вспененная липкая лента повышает качество виброизоляции, поэтому используйте самую толстую ленту, какую удастся найти (в разумных пределах; не надо использовать ленту сантиметровой толщины). Убедитесь, что стрелка "вперед" на корпусе контроллера указывает на переднюю часть рамы и контроллер расположен строго по центру, до того, как приложить его на место (рис. 4.4).

Рис. 4.2. Отрежьте около 2,5 см двусторонней липкой ленты для установки контроллера APM

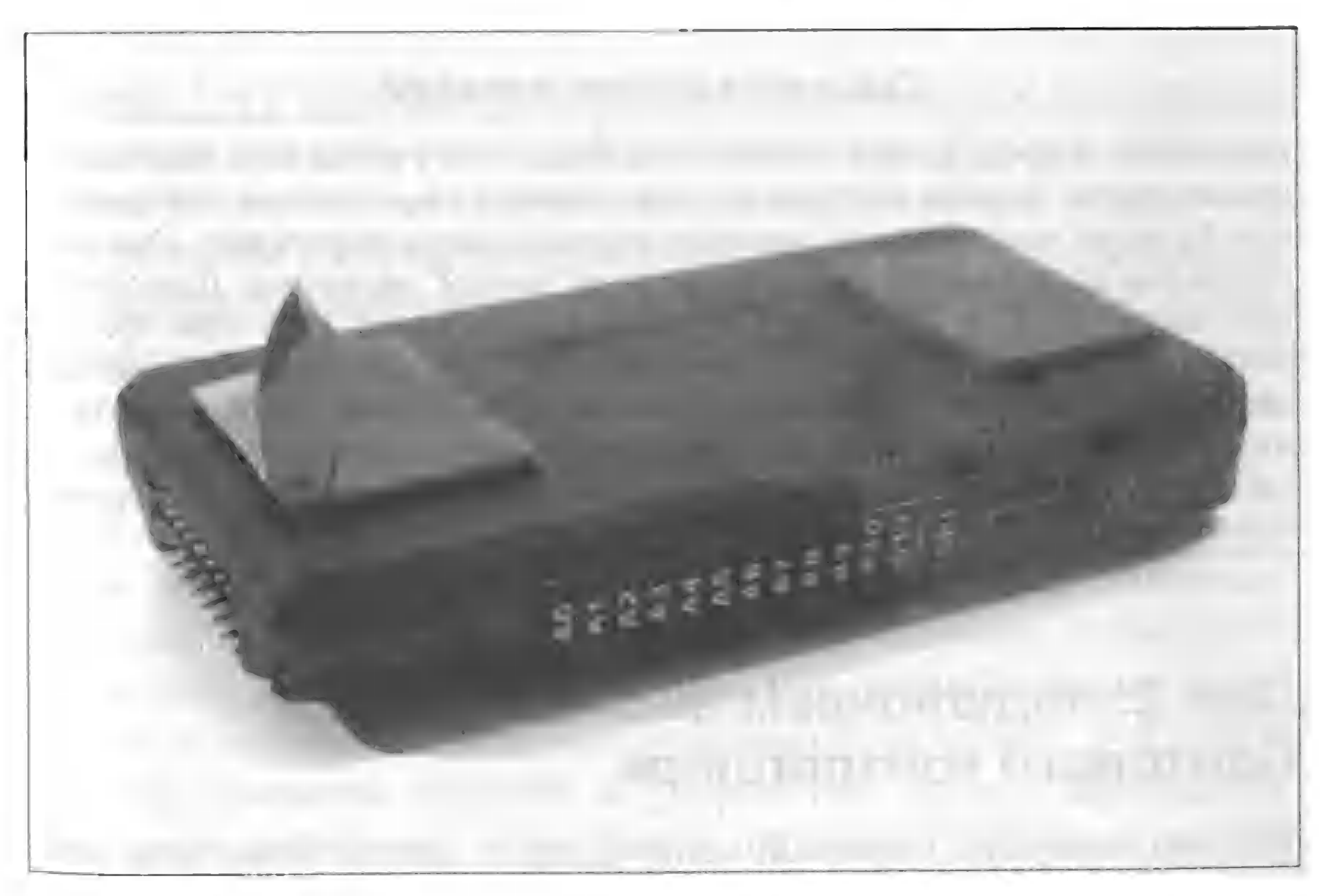


Рис. 4.3. Разрежьте ленту пополам, приклейте на оба конца контроллера и удалите защитную пленку

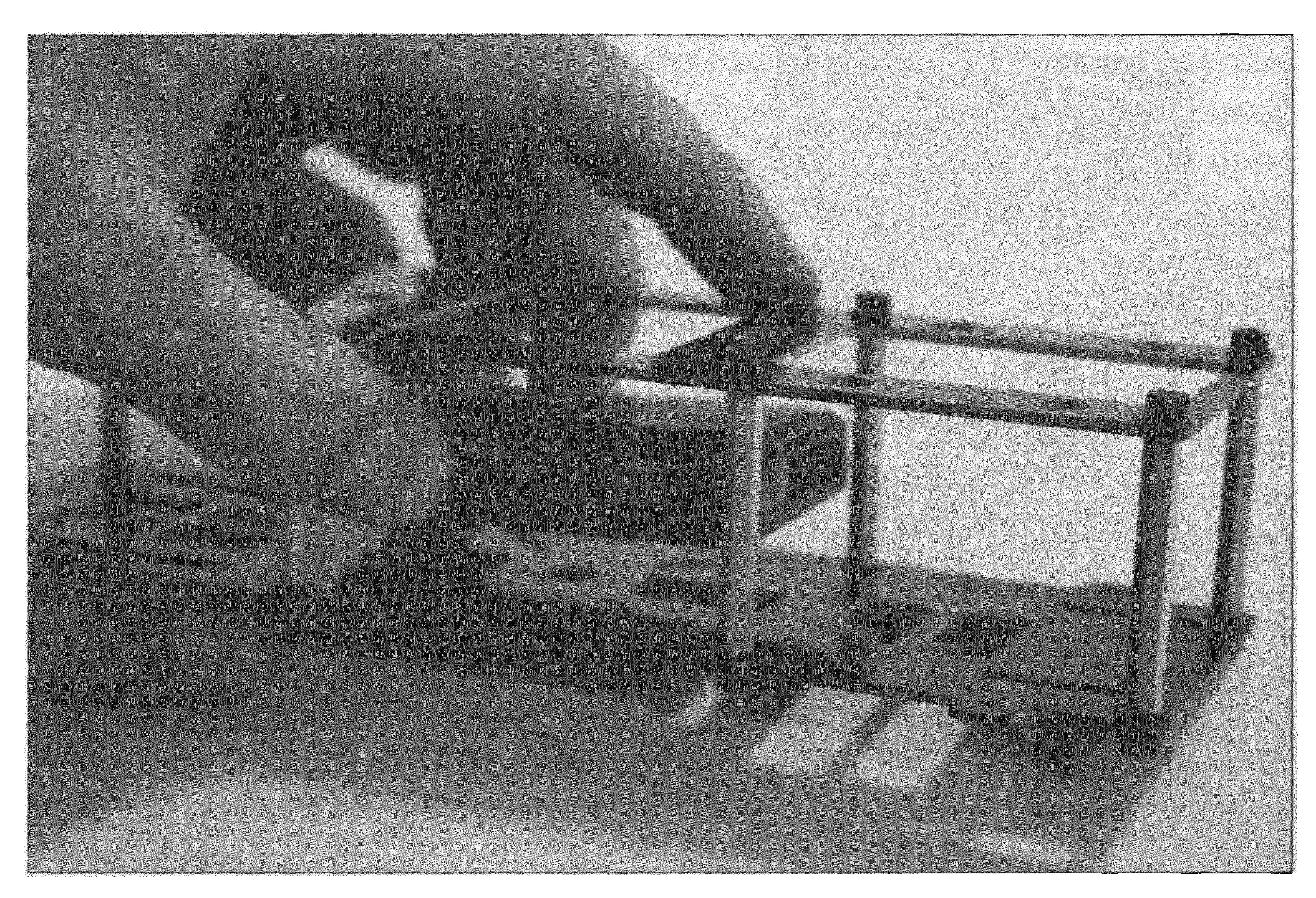


Рис. 4.4. Когда липкая лента готова, расположите АРМ строго по центру — контролируя правильность направления — и плотно прижмите его на место

ГДЕ НАПРАВЛЕНИЕ ВПЕРЕД?

Напомним, в предыдущих главах говорилось, что у рамы есть передняя и задняя часть. Задняя часть имеет два длинных узких выреза для крепления батареи между двумя задними монтажными отверстиями. Они расположены на верхней и нижней пластине "чистой" полурамы. Другой признак заключается в том, что лучи складываются *назад*. Еще один признак указывает на то, что большие круглые отверстия для крепления панели камеры на "чистой" полураме расположены впереди. Удостоверьтесь, что полетный контроллер ориентирован вперед и расположен строго по центру рамы. Ошибка в ориентации приведет к очень короткому первому полету!

Шаг 2: подключаем выходы бортового контроллера

Как мы говорили, бортовой контроллер — это не более чем микропроцессор, который получает массив входных данных, производит над ними вычисления и посылает соответствующие сигна-

лы для поддержания дрона в воздухе. В данный момент мы можем подключить к бортовому контроллеру только наши двигатели при помощи регуляторов оборотов. Посмотрите на выходы АРМ, маркированные номерами 1–8. Каждый выход состоит из трех штырьков, расположенных вертикально под соответствующей маркировкой. Эти три контакта предназначены для подключения стандартных серворазъемов на сигнальных проводах регуляторов. Они маркированы, как "S", "+" и "–", если смотреть на них сзади относительно контроллера.

ЦВЕТОВАЯ МАРКИРОВКА ПРОВОДОВ

Трехцветный провод, идущий от вашего регулятора оборотов, иногда называют сервопроводом. Он всегда состоит из линий питания, сигнала и общего провода (земли); это гнездовая часть разъема, как вы уже заметили. Что может варьироваться, так это цвет проводов. Неизменное правило одно: провод питания *всегда* красный, но остальные провода могут быть расцвечены по одному из двух вариантов. Они могут быть в паре черный=земля/белый=сигнал или коричневый=земля/оранжевый=сигнал. Запомните это сейчас, чтобы избавить себя от неприятностей в дальнейшем.

Выходы 1 и 2 предназначены для подключения переднего правого и заднего левого двигателей соответственно. Разберитесь с выводами регуляторов, подключенных к двигателям, и подключите серворазъемы к соответствующим выходным портам. Убедитесь, что черные провода (земля) после подключения приходят к нижней части разъемов. Повторите шаги, подключая передний левый двигатель к выходу 3 и задний правый двигатель к выходу 4. Схема подключения наглядно показана на рис. 9 на цв. вклейке.

Чтобы правильно проложить провода, при помощи тонкой авторучки или маркера пометьте разъемы регуляторов соответствующими номерами. Когда разъемы промаркированы, совместите концы всех проводов и затяните один или два нейлоновых хомутика по ходу укладки проводов, недалеко от разъемов. Это позволит поддерживать порядок в устройстве. Теперь пропустите группу проводов через одно из прямоугольных отверстий позади "чистой" платы (рядом с выходами АРМ). Смотрите детальную иллюстрацию на рис. 4.5.

Рис. 4.5. Выводы наших регуляторов аккуратно проложены от "грязной" полуплаты, вверх, через отверстие в задней части "чистой" полуплаты, что дает легкий доступ к разъемам АРМ. Заметьте, что верхняя пластина "чистой" полуплаты удалена, чтобы сделать более качественную фотографию. В реальных условиях этого делать не следует

Далее просто вставьте пронумерованные ранее разъемы регуляторов в соответствующие порты АРМ. Если вы аккуратно прошли упомянутые шаги, то должны получить надежное соединение между АРМ и регуляторами, выглядящее аналогично рис. 4.6. Уделите внимание тому, чтобы уложить провода как можно аккуратнее.



Если вы используете бортовой контроллер, отличный от АРМ, обратитесь к фабричному руководству по правильному подключению двигателей. Подключение портов АРМ всегда начинается с номера 1, и далее по количеству двигателей вашего дрона. Гексакоптер всегда использует выводы 1–6, тогда как октокоптер всегда использует выводы 1–8.

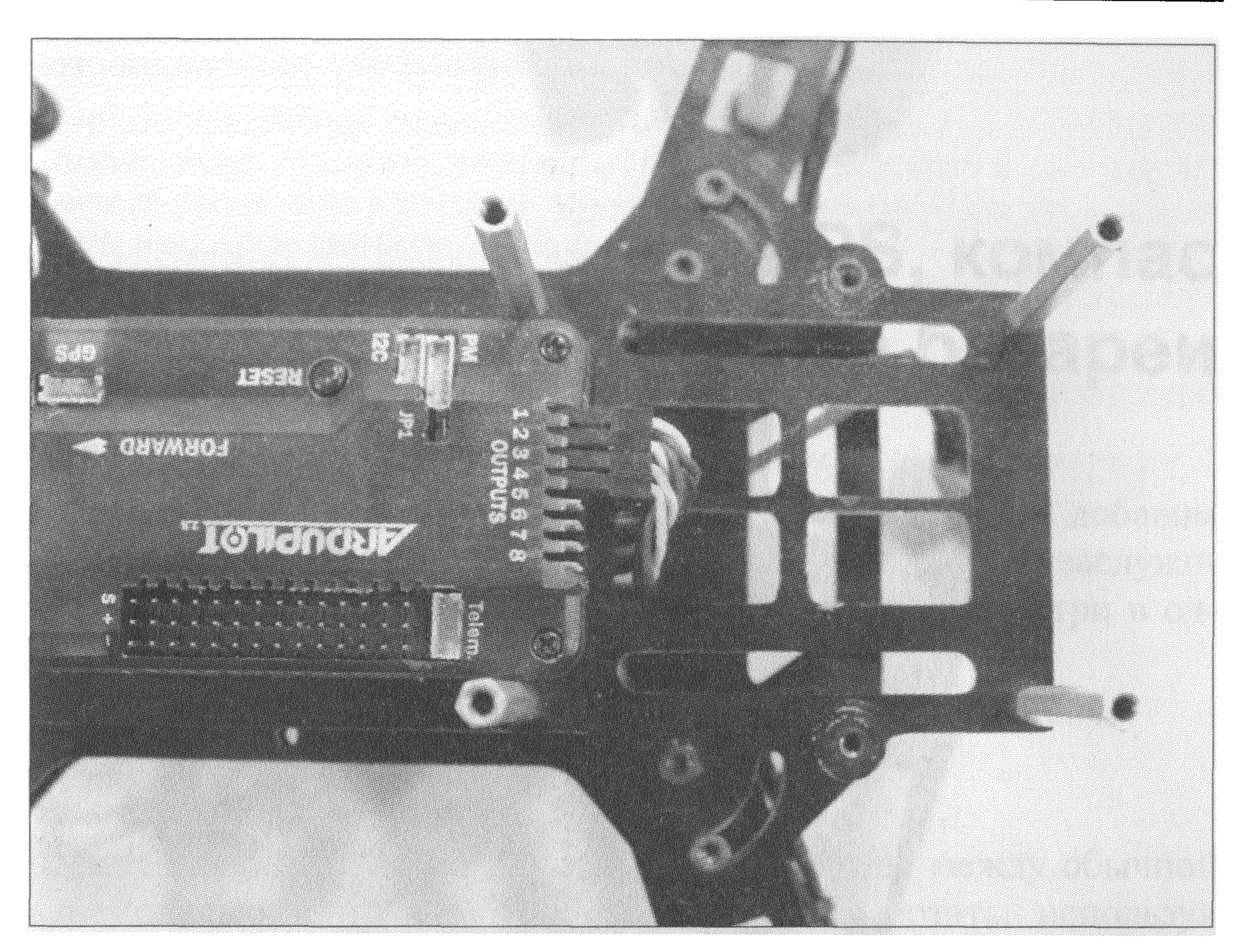


Рис. 4.6. Все регуляторы подключены к выходам АРМ (верхняя пластина "чистой" полуплаты удалена, чтобы сделать более качественную фотографию)

Шаг 3: соединяем две полурамы между собой

Когда все регуляторы подключены к АРМ, можно двигаться дальше и соединять две полуплаты между собой. Как вы помните, мы обсуждали этот момент в *главе 2*, когда собирали раму. Если вы не припоминаете этот шаг, вернитесь назад, к *разд. "Шаг 4: соединяем полурамы" главы 2*. Вкратце: вы вставляете четыре монтажных винта длиной 5 мм через монтажные площадки "чистой" полуплаты в короткие стойки, расположенные в верхней части "грязной" полуплаты. Рисунок 4.7 может освежить вашу память.

4 Зак. 1452

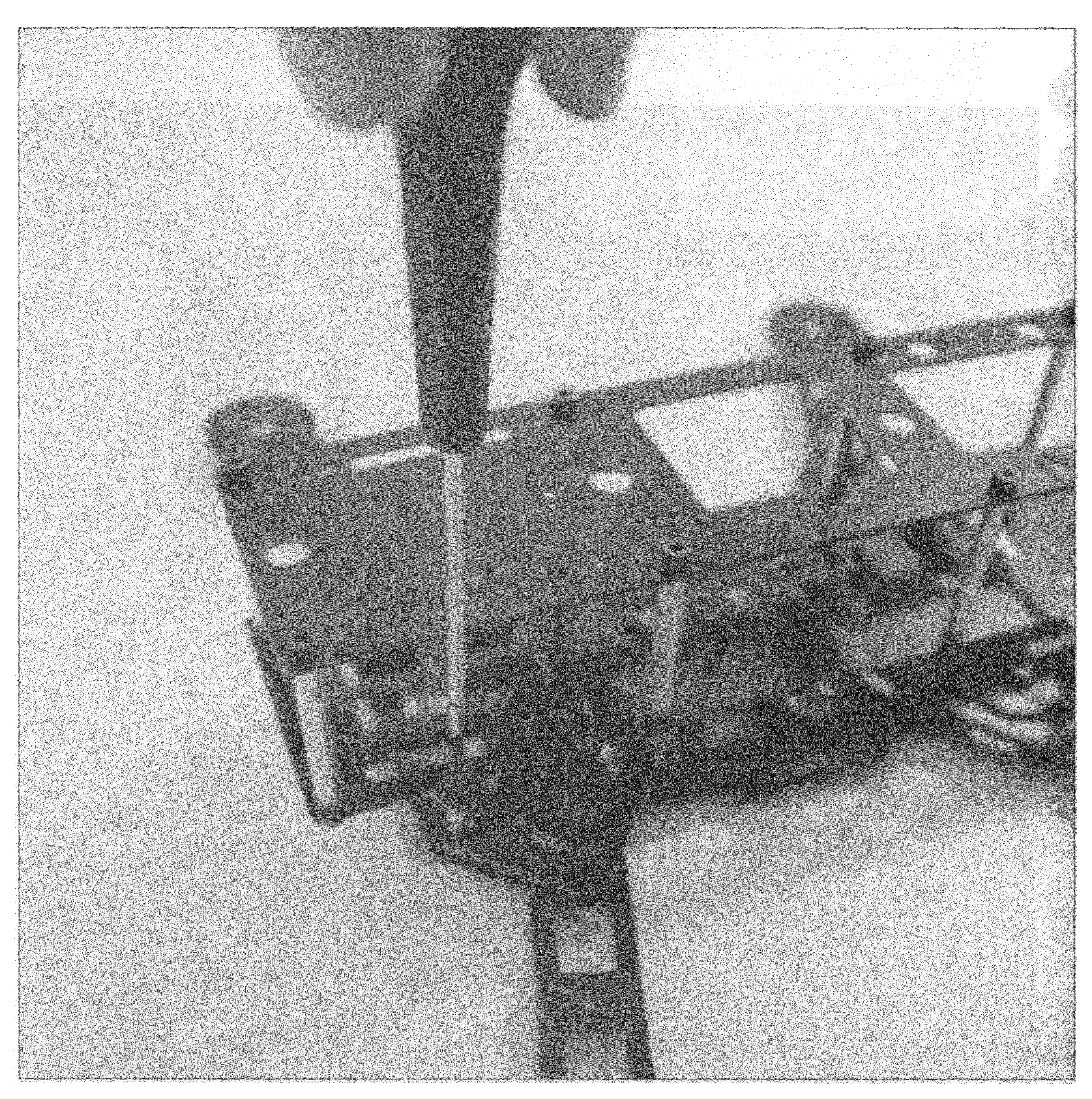


Рис. 4.7. Наконец мы готовы соединить две полуплаты между собой!

Подводим итог

Сейчас мы имеем бортовой контроллер, выходы которого идут к четырем двигателям, надежно смонтированный на "чистой" плате. Дважды проверьте все соединения и убедитесь, что все провода подключены к своим портам. Двукратная проверка сейчас убережет вас от проблем в будущем.

5/GPS, компас и монитор батареи

В этой главе мы рассмотрим три аксессуара, которые мы добавим на наш дрон. Каждый из этих компонентов сам по себе заслуживает лишь небольшой главы, поэтому мы обсудим все три в одной главе.

GPS

Наличие одной опции проводит четкую границу между обычной авиамоделью и дроном: это возможность работать, используя GPS (рис. 5.1). Применение этой спутниковой технологии навигации выводит управление на новый уровень, просто невозможный ранее. Это достижение позволяет создателям дронов разра-



Рис. 5.1. Модуль GPS 3DR uBlox со встроенным компасом

батывать полетные режимы для специфических разновидностей полетов.

Режимы полета

Рассмотрим несколько типов режимов полета, доступных с GPS.

Удержание позиции и высоты

Удержание позиции и высоты (Loiter) — пожалуй, самая часто используемая функция GPS, которая удерживает летательный аппарат в заданной позиции (широта, долгота и высота) по щелчку переключателя. Находясь в режиме удержания позиции, дрон автоматически корректирует положение, изменившееся под влиянием внешних сил. Например, как только удержание включено, дрон должен автоматически прилететь обратно, если ветер сдул его в сторону. При правильной конфигурации разброс координат не превышает ±2 метра. Аналогичный подход применяется для высоты. Удержание высоты обычно работает с разбросом ±3 метра[1] и может использовать дополнительные датчики, кроме GPS, такие, как барометр.

Возврат к точке взлета

Одна из лучших опций безопасности современных дронов — возврат к точке взлета (Return to Home, RTH) — реализуема только при помощи GPS. В этом режиме дрон может запомнить координаты условного "дома", обычно это точка взлета, и вернуться туда при определенных обстоятельствах, когда сработает система защиты от сбоев (failsafe). Одним из условий срабатывания RTH является потеря радиосигнала вашим летательным аппаратом. Это случается, если в вашем передатчике во время полета села батарея или аппарат вылетел за пределы дальности действия передатчика. Некоторые пользователи также программируют определенный переключатель пульта на включение режима RTH.

---

[1] Современные квадрокоптеры могут удерживать высоту с точностью порядка 30 см, используя сочетание барометра и акселерометра. Ключевую роль играет алгоритм обработки показаний этих датчиков. — *Прим. пер.*

Безопасность режима RTH

Хотя это прекрасная опция, способная уверенно спасти ваш дрон в тот момент, когда это нужно, ее следует использовать только в качестве защиты от сбоев, а не в качестве обычного инструмента. Никогда не отпускайте ваш дрон слишком далеко, откуда вы не смогли бы вернуть его самостоятельно. Иными словами, *не надейтесь* на режим RTH.

Полет по точкам

Несколько более продвинутым применением для GPS является автономная навигация по запрограммированным точкам (Waypoint navigation). Приложение наземной станции загружает перечень навигационных инструкций в бортовой контроллер, который выполняет их шаг за шагом, как законченную миссию. Эта технология особенно полезна в индустрии аэрокартографии, когда раз за разом надо выполнять одинаковые полетные задания. Всегда проверяйте состояние GPS на вашем беспилотнике перед тем, как запустить полет по точкам. Если ваш аппарат может удерживать позицию и безопасно возвращаться домой, он готов к полету по точкам.

Работает ли моя система GPS правильно?

Существует отличный способ проверить, насколько точен ваш модуль GPS, не рискуя провалом летной миссии: посмотрите на координаты, отображающиеся в приложении наземной станции. Положите устройство в стабильном положении на просторном открытом пространстве и не двигайте. Если показания наземной станции создают впечатление, что летательный аппарат дрейфует, вы могли столкнуться с помехами, влияющими на GPS. Попробуйте переместить приемник GPS и повторите тест. Другой вариант заключается в размещении приемника выше над прочими электронными компонентами.

Сопровождение

Новейшим вариантом использования GPS в мире мультикоптеров является режим сопровождения (Follow Me). Этот режим позволяет в реальном времени передавать на борт дрона данные о местоположении оператора с мобильного приложения. Затем дрон использует эти данные местоположения для того, чтобы

следовать за вами на заданном расстоянии и высоте. Это открывает фантастические перспективы для ведения спортивных репортажей в одиночку — представьте камеру дрона, висящего на высоте 20 футов (6 метров) от головы нападающего в американском футболе, но режим сопровождения следует использовать с осторожностью. Поскольку малые дроны не оснащены системой предотвращения столкновений, режим сопровождения может создать проблемы в тесном или перегруженном окружении. Если вы, катясь на лыжах, проскакиваете под ветвями дерева, то ваш коптер не способен распознать их и влетит прямо в ветки.

Компас

В то время как GPS позволяет нашему дрону достичь небывалой автономности, это мало чего стоит, если нет возможности следить за направлением полета. В этот момент в игру вступает компас. Компас часто бывает встроенным вместе с GPS в один блок (как в нашем примере) и указывает нашему дрону не только основное направление, но и направление на точку взлета и любые изменения направления, которые произошли во время полета.

Это действительно компас?

Для большинства из нас компас ассоциируется с блестящим круглым инструментом. Вы знаете эту штуковину со стрелкой, которая всегда показывает на север. Разумеется, APM не содержит внутри себя такой прибор. Он использует миниатюрный электронный датчик, именуемый магнитометром. Равно, как и традиционный компас, магнитометр измеряет мгновенное значение окружающего магнитного поля и использует эту информацию для определения направления — просто делает это без забавной стрелки. На протяжении этой книги термины "компас" и "магнитометр" будут чередоваться.



APM 2.5 против APM 2.6

В зависимости от вашего источника комплектующих, вероятно, у вас окажется одна из двух версий бортового контроллера APM. Между ними есть несколько мелких отличий, но главное, с чем мы имеем дело, — это компас. APM 2.5 использует встроенный компас, тогда как APM 2.6 рассчитан на подключение внешнего компаса, смонтированного внутри

модуля GPS. Этот подход позволяет вынести компас в наиболее подходящее окружение (с точки зрения магнитных помех), такое, как соседство с GPS. Если у вас версия APM 2.5, не беспокойтесь! Существует довольно простой способ отключить встроенный компас и воспользоваться преимуществами внешнего блока:

http://gettingstartedwithdrones.com/apm/.

Монитор батареи

Еще один маленький, но очень важный компонент нашей конструкции — это *монитор батареи* (иногда именуемый, как *модуль питания*). В то время как некоторые другие бортовые контроллеры изначально оснащены функцией мониторинга силовой батареи, например встроенным модулем питания, APM позволяет подключать монитор батареи в качестве опционального внешнего датчика. Несмотря на то, что подключение монитора батареи не обязательно, мы настоятельно рекомендуем установить этот модуль (рис. 5.2). Он поставляет важные данные, которые могут вам понадобиться, и обычно продается в комплекте с бортовым контроллером (зависит от места покупки).

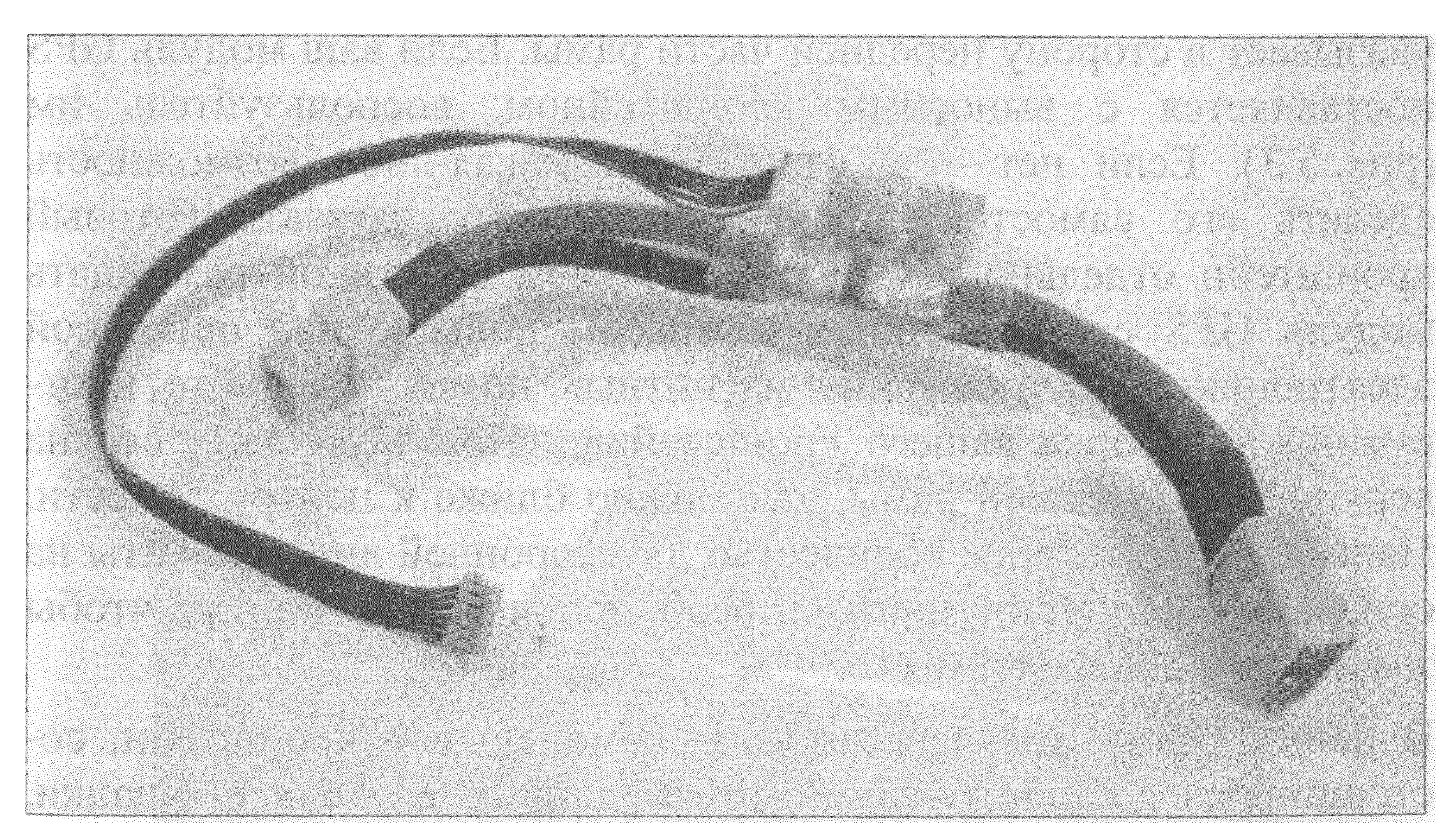


Рис. 5.2. Наш последовательный монитор батареи собирает очень важные данные во время полета

Теория, стоящая за монитором батареи, проста: поместить небольшую схему в разрыв провода силовой батареи и собирать важную информацию о напряжении и силе тока, направляемую далее в APM. Основываясь на ней, мы можем программно определять различные действия, такие, как автоматический возврат домой (RTH), когда питающее напряжение снижается до опасного уровня.

Пошаговые инструкции

Далее мы рассмотрим установку GPS, компаса и монитора батареи. Несмотря на то, что эта часть работы выглядит очень простой в плане сборки, пожалуйста, будьте внимательны, потому что ошибки на данном этапе окажут большое влияние на стабильность и надежность летательного аппарата.

Шаг 1: монтаж модуля GPS

Установка модуля GPS — пожалуй, один из простейших шагов сборки всего устройства. Важно знать, что большинство модулей GPS также содержат компас, который имеет свое направление "вперед". Обязательно убедитесь, что стрелка на корпусе модуля указывает в сторону передней части рамы. Если ваш модуль GPS поставляется с выносным кронштейном, воспользуйтесь им (рис. 5.3). Если нет — и отсутствует какая-либо возможность сделать его самостоятельно — вы можете заказать готовый кронштейн отдельно. Считается хорошей практикой размещать модуль GPS со встроенным компасом повыше над остальной электроникой во избежание магнитных помех. Следуйте инструкции по сборке вашего кронштейна, затем поместите его на верхней части вашей рамы, как можно ближе к центру тяжести. Нанесите достаточное количество двусторонней липкой ленты на основание или придумайте способ использовать винты, чтобы зафиксировать его на месте.

В нашем дроне мы использовали самодельный кронштейн, состоящий из дополнительной стойки длиной 37 мм и площадки, изготовленной при помощи 3D-принтера (рис. 5.4). Этот предмет вы будете часто видеть на остальных иллюстрациях этой главы.

В зависимости от того, какой модуль вы применяете, можно скачать одну из бесплатных заготовок для печати на 3D-принтере: **http://gettingstartedwithdrones.com/gps/**.



Рис. 5.3. Компания 3DR Robotics выпускает замечательные держатели для uBlox GPS

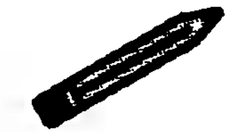


Рис. 5.4. Мы любим делать простые вещи, как эта подставка для GPS

Шаг 2: подключаем GPS и компас к АРМ

Если вы купили для своего дрона модуль 3DR uBlox, он должен поставляться с двумя (или более) небольшими кабелями для подключения к АРМ. Достаньте их из пакета и тщательно рассмотрите. Модуль GPS может работать с различными популярными системами автопилотов, поэтому обычно поставляется с набором кабелей, покрывающим все базовые потребности. Два из них, которые вам следует найти, определяются, как 4-контактный кабель и 5/6-контактный кабель. Сначала это может звучать странно, но на самом деле все просто. Количество контактов означает, сколько проводов может быть подключено к концевому разъему. В нашем случае у нас есть один кабель, который имеет 4-контактные разъемы на каждом конце, и четыре провода между ними. Это кабель для компаса (магнитометра). Второй кабель оснащен 5-контактным разъемом на одном конце и 6-контактным разъемом на втором конце; между ними проходят пять проводов. Ошибки нет, в одном из разъемов остается пустое гнездо; это нормально, не беспокойтесь. Позже мы разберемся, почему так происходит, а сейчас взгляните на кабели, которые мы будем использовать (рис. 5.5). Если вы не получили такие кабели вместе с компасом, немедленно обратитесь к продавцу, особенно если вы покупали АРМ и GPS вместе в одном магазине!

Разобравшись с кабелями, взглянем на блок GPS. Рассматривать почти нечего: это маленький черный квадрат с двумя портами слева. Они маркированы надписями GPS и MAG. Приглядевшись, вы обнаружите, что порт GPS имеет шесть маленьких контактов внутри, а порт MAG — четыре. Теперь становится понятнее? 6-контактный разъем провода GPS мы вставляем в порт GPS, тогда как в порт MAG вставляем 4-контактный разъем кабеля компаса (рис. 5.6).



Порт MAG

На случай, если вы еще не догадались самостоятельно, порт MAG имеет такое обозначение, потому что это сокращение от слова magnetometer. Это техническое наименование датчика, который реализует функцию компаса.

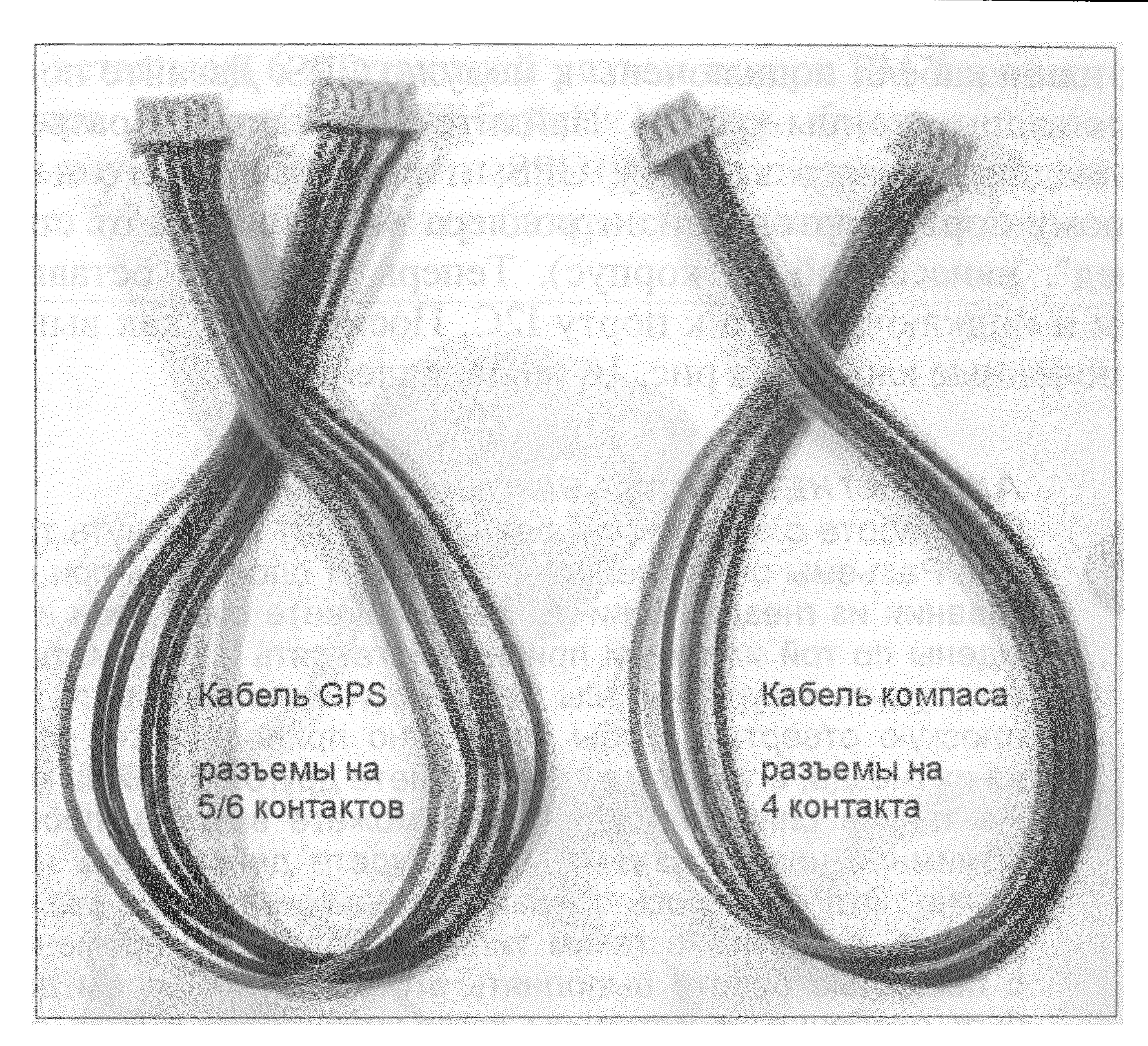


Рис. 5.5. Удостоверьтесь, что выбрали правильные кабели для работы



Рис. 5.6. Два порта на боковой стороне модуля GPS

Итак, наши кабели подключены к модулю GPS. Давайте подключим их вторые концы к APM. Найдите 5-контактный разъем кабеля, подключенного к порту GPS, и подключите его к одноименному порту бортового контроллера APM (справа от стрелки "вперед", нанесенной на корпус). Теперь возьмите оставшийся разъем и подключите его к порту I2C. Посмотрите, как выглядят подключенные кабели на рис. 10 на цв. вклейке.



Аккуратнее с разъемами!

При работе с этим типом разъемов могут возникнуть трудности. Разъемы очень непрочные и могут сломаться при вытаскивании из гнезда. Если вы обслуживаете свой дрон и вынуждены по той или иной причине вставлять и вынимать разъем, будьте аккуратны! Мы рекомендуем использовать тонкую плоскую отвертку, чтобы осторожно приподнимать разъемы из их гнезда, в то время как вы тянете другой рукой за кабель. Не тяните слишком сильно! Вы можете вырвать провод из обжимной части разъема, если будете действовать неосторожно. Это случалось с нами несколько раз, пока мы не научились работать с таким типом кабелей. Со временем вы с легкостью будете выполнять это действие, но вы должны быть особенно внимательны, когда начинаете работать с ними.

Как правильно вставить разъем?

Существует быстрый и простой способ пояснить, в каком положении разъем должен быть вставлен в ваш блок. У всех кабелей, вставленных в APM, одиночный красный провод всегда будет справа (что соответствует текстовой метке порта). Как ни странно, мы обнаружили противоположную ориентацию у модуля GPS uBlox: красный провод всегда слева. Это достаточно хорошо видно на рис. 10 на цв. вклейке.

Шаг 3: устанавливаем монитор батареи

Наконец, мы будем монтировать наш монитор батареи. Напоминаем, это необязательный аксессуар. Если вы решили избавиться от него — возможно, вы хотите сэкономить несколько граммов веса — пропустите этот шаг. Но, скажем прямо, с этого компонента поступают важные данные, поэтому рекомендуем пройти с нами эту часть пути.

Обзор процесса установки выглядит достаточно просто: мы подключаем выводы питания от распределителя к монитору батареи,

затем вставляем 6-контактный разъем в порт PM бортового контроллера APM. Силовая батарея теперь будет подключаться к разъему монитора, а не напрямую к распределителю питания. На рис. 5.7 показан монитор батареи, подключенный "на весу".

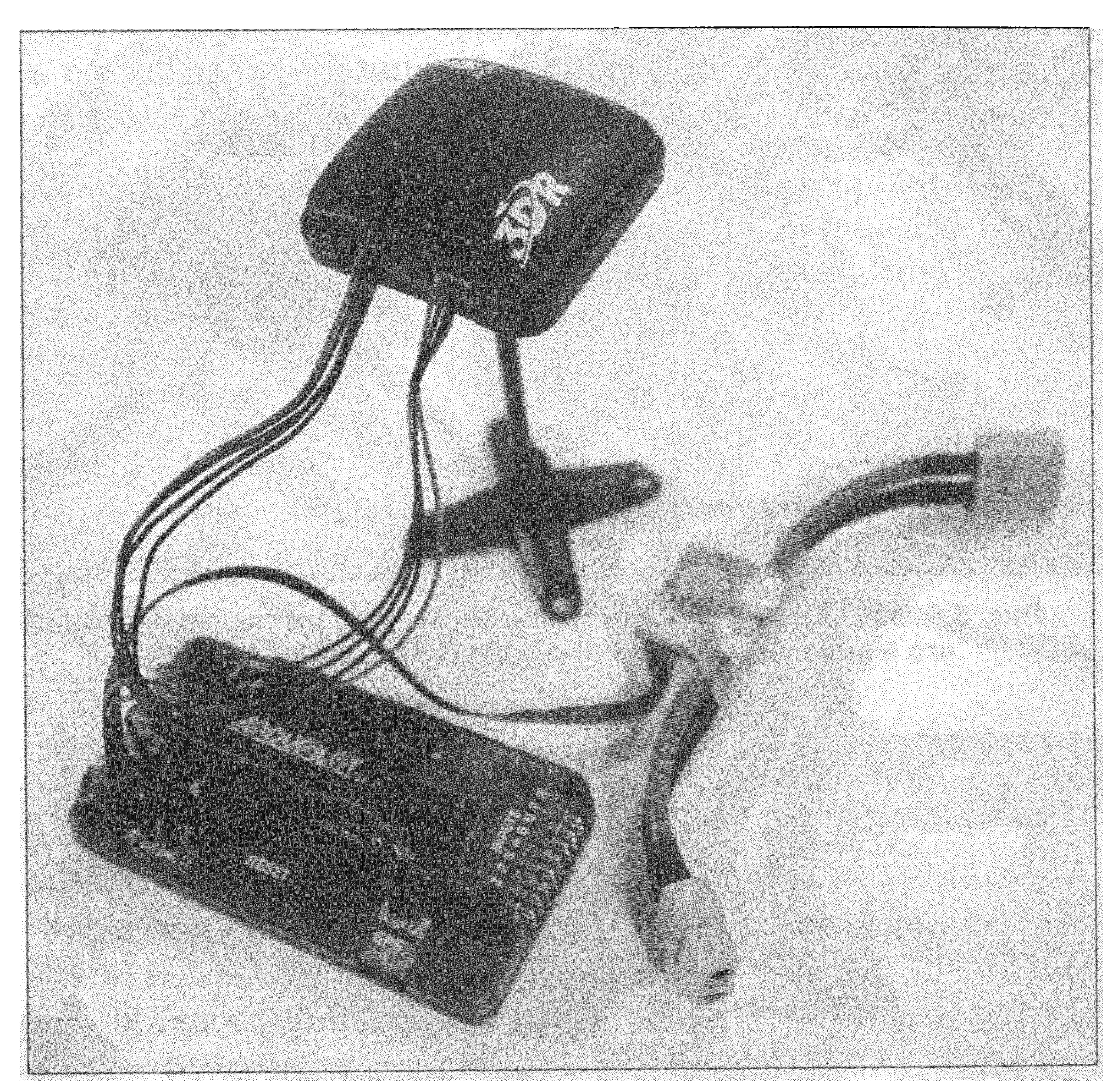


Рис. 5.7. Наш монитор батареи подключен для передачи данных в APM через 6-контактный разъем, включенный в порт PM

Начнем с подключения монитора батареи к главному силовому проводу, идущему от распределителя питания (рис. 5.8). Это тот же самый провод, к которому вы обычно подключаете батарею, если не используете монитор.

Далее надо смонтировать плату монитора батареи на задней части нашей рамы (рис. 5.9). Начните с проталкивания оригинальных выводов питания в промежуток между "чистой" и "грязной" полурамами на всю длину, до конца задней части. Протяни-

Рис. 5.8. Ваш монитор батареи должен иметь тот же тип разъемов, что и выводы силовой батареи (в нашем случае XT-60)



Рис. 5.9. Монитор размещен в нужном месте и готов к пристегиванию к раме

те провод с 6-контактным разъемом через нижнюю часть рамы, используя те же отверстия, через которые провели выводы регуляторов ранее. Этого провода будет достаточно, чтобы дотянуться до порта PM на бортовом контроллере APM.

Поскольку выводы монитора весьма коротки, мы можем прикрепить его на заднем конце платы парой нейлоновых стяжек, оставив на свободе новый провод для подключения батареи (рис. 5.10).

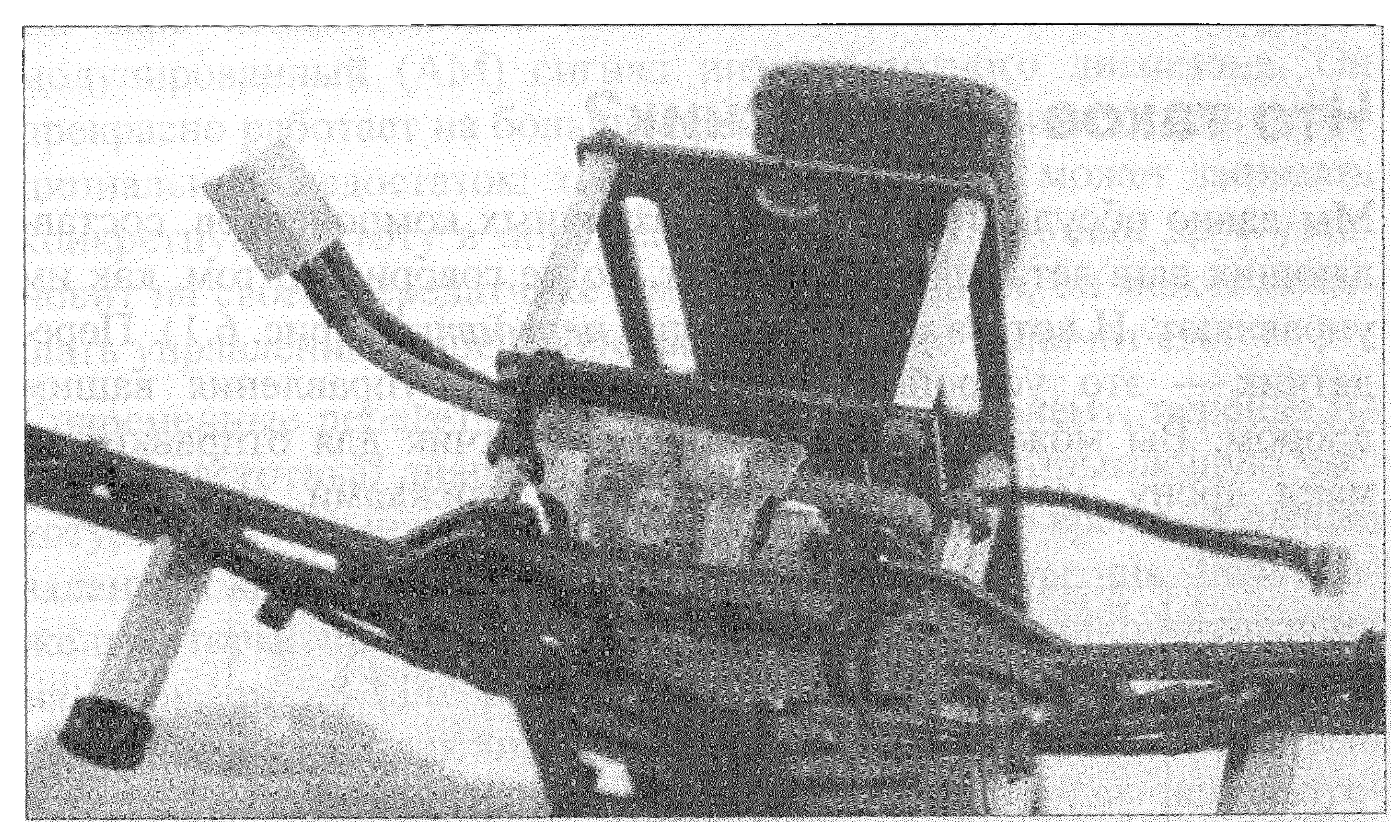


Рис. 5.10. К новому поводу питания можно подключать силовую батарею

Теперь осталось лишь вставить 6-контактный разъем, идущий от монитора батареи, в порт PM, как было показано ранее в этой главе. Убедитесь, что красный провод кабеля находится справа, что соответствует маркировке на корпусе.

Подводим итог

Вот и все закончено с GPS, компасом и монитором батареи. Далее в книге мы воспользуемся прошивкой бортового контроллера и убедимся, что модуль GPS принимает сигнал так, как мы ожидаем. Также мы рассмотрим настройки монитора батареи. А сейчас перейдем к следующей главе.

6/Передатчик

Что такое передатчик?

Мы давно обсудили множество различных компонентов, составляющих ваш летательный аппарат, но не говорили о том, как им управляют. И вот на сцену выходит *передатчик* (рис. 6.1). Передатчик — это устройство дистанционного управления вашим дроном. Вы можете использовать передатчик для отправки команд дрону, манипулируя рукоятками, движками, кнопками и



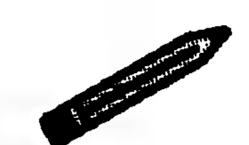
Рис. 6.1. Популярный передатчик Taranis производства FrSky

переключателями. Команды поступают из передатчика в бортовой приемник, который отправляет их в бортовой контроллер или другие блоки.

Наиболее распространенные диапазоны

На заре авиамоделизма любители использовали амплитудно-модулированный (АМ) сигнал низкочастотного диапазона. Он прекрасно работает на большом расстоянии, но имеет один принципиальный недостаток: только один оператор может занимать конкретную частоту в определенное время. Если ваш друг установит на своем передатчике тот же самый канал, он может помешать управлению вашей моделью, как только включит его.

Современные передатчики преодолели эту проблему, перейдя на высокочастотный диапазон 2,4 ГГц и используя прыгающую частоту, чтобы гарантировать, что в любое заданное время на любом заданном канале присутствует только один передатчик. Еще позже некоторые производители перенесли каналы радиоуправления на диапазон 5,8 ГГц. Поступив так, они смогли зарезервировать диапазон 2,4 ГГц для видеоканала[1] (который мы будем обсуждать в *главе 8*). Важно знать, какой частотный диапазон вы используете, поскольку при групповых полетах конфликт частот может привести к проблемам.



ХОРОШЕЕ ПРАВИЛО ПОВЕДЕНИЯ

Старайтесь не использовать передатчик радиоуправления диапазона 5,8 ГГц совместно с аналоговым передатчиком видеоканала 5,8 ГГц. В равной степени вы должны избегать совместного использования передатчика радиоуправления и передатчика видеоканала на диапазоне 2,4 ГГц. Работая в пределах одного диапазона, эти компоненты могут создавать взаимные помехи. Используйте передатчик управления на 2,4 ГГц с передатчиком видео на 5,8 ГГц или наоборот.

---

[1] В массовой практике обычно наоборот: диапазон 2,4 ГГц для радиоуправления и 5,8 ГГц для видеоканала. — *Прим. пер.*

Различные варианты раскладки в мире

Важная вещь, которую следует знать заранее при покупке передатчика — вариант раскладки рукояток управления (в обиходе именуемый "мода" — от англ. *mode*). В Соединенных Штатах используется вариант Mode 2, где рукоятка газа/курса (Throttle/Yaw) расположена слева, а рукоятка кренов (Pitch/Roll) справа. Вариант Mode 1 используется в Европе[1] и Японии и имеет реверсное расположение рукояток. Соответственно, у них рукоятка газа расположена справа.

PWM против PPM

Если вам уже доводилось выбирать в магазинах передатчики радиоуправления, наверняка вы сталкивались с терминами *PWM (Pulse-Width Modulation)* и *PPM (Pulse-Position Modulation)*. Они обозначают широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) и фазово-импульсную модуляцию (ФИМ) соответственно и идентифицируют протокол кодирования сигнала между приемником (рис. 6.2) и остальными компонентами летательного аппарата. Основное различие в том, что PPM — цифровой сигнал, тогда как PWM — аналоговый. Создавая свое устройство, вы должны знать: наиболее заметная практическая разница между ними в том, что по одному проводу можно передавать до девяти каналов PPM[2] (последовательный цифровой канал), тогда как PWM требует отдельного провода для каждого канала (параллельный канал). Очень важно заранее обратиться к документации приемника и бортового контроллера, чтобы знать, какие протоколы они поддерживают. Если доступен последовательный протокол PPM, настоятельно рекомендуем использовать именно его, поскольку он кардинально проще для монтажа, требуя буквально один соединительный кабель. Однако не всякое оборудование поддерживает протокол

---

[1] В России больше распространен американский вариант Mode 2. — *Прим. пер.*

[2] Современная аппаратура поддерживает до 14 каналов при наличии соответствующего приемника, но такие приемники стоят достаточно дорого. — *Прим. пер.*

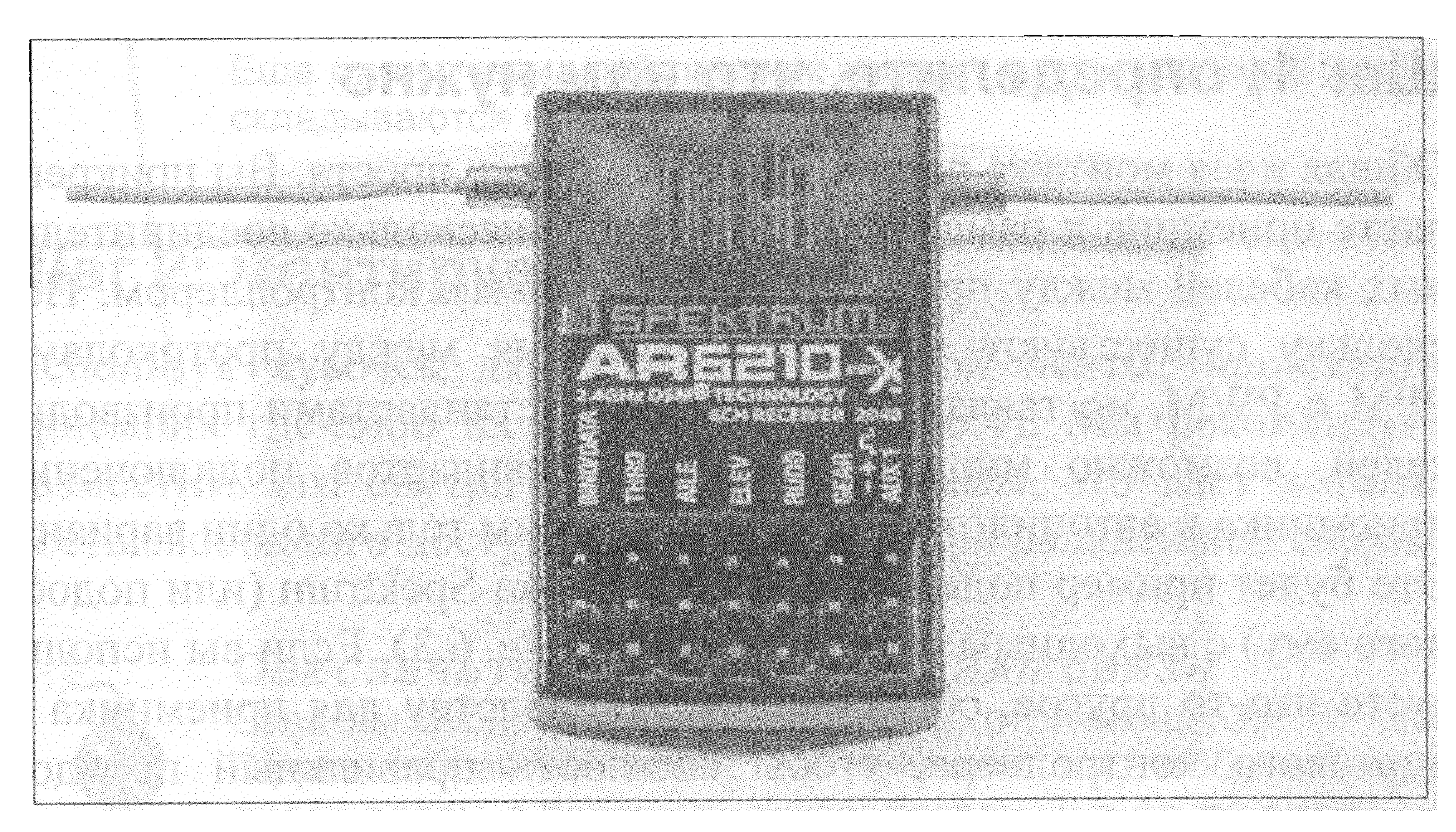
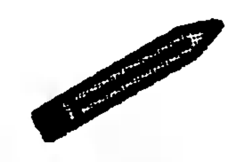


Рис. 6.2. Шестиканальный приемник Spectrum

PPM, поэтому обратитесь к инструкции для вашего оборудования. На момент написания книги основная версия прошивки бортового контроллера APM не поддерживала цифровой последовательный протокол. Насколько нам известно, некоторые независимые разработчики смогли создать собственные версии прошивок с поддержкой PPM, но мы не советуем вам использовать непроверенное программное обеспечение от независимых разработчиков, будучи новичком в этом хобби. Короче говоря, используйте официальные релизы прошивок и будьте счастливы!



ЦИФРОВОЙ ПРОТОКОЛ ПОД ДРУГИМ ИМЕНЕМ

Многие производители разрабатывают проприетарные версии цифровых последовательных протоколов и дают им собственные имена. Например, Futaba называет свой протокол SBus.

Пошаговые инструкции

На этом этапе сборки нам потребуются:

- 2–3 см двусторонней липкой ленты;
- ножницы;
- сервопровода с двумя гнездовыми разъемами.

Шаг 1: определите, что вам нужно

Общая идея монтажа радиоприемника очень проста. Вы прикрепляете приемник к раме, затем вставляете несколько соединительных кабелей между приемником и бортовым контроллером. Поскольку существуют не только различия между протоколами PPM и PWM, но также различия между стандартами производителей, возможно множество разных стандартов подключения приемника к автопилоту, но мы рассмотрим только один вариант. Это будет пример подключения приемника Spektrum (или подобного ему) с выходным сигналом PWM (рис. 6.3). Если вы используете что-то другое, обратитесь к руководству для приемника и бортового контроллера, чтобы соблюсти правильный порядок соединений.

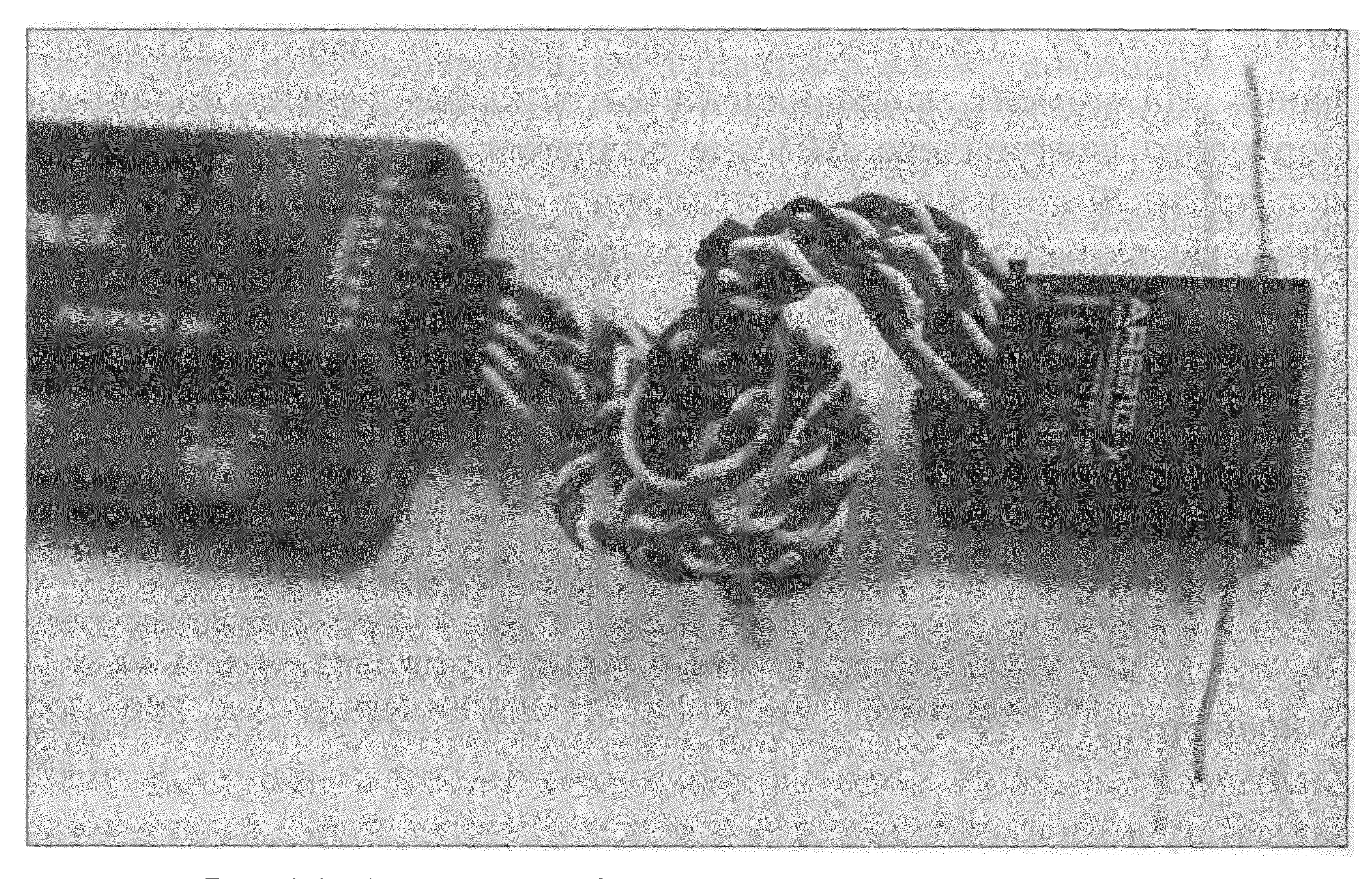


Рис. 6.3. Наш приемник Spektrum подключен к APM на столе



ГДЕ НАПРАВЛЕНИЕ "ВПЕРЕД"?

Удостоверьтесь, что монтируете упомянутые компоненты на правильное место. Вы можете легко распознать переднюю часть рамы, потому что там есть большой вырез под виброизолированную панель, на которой будет крепиться камера.

Еще один очевидный признак состоит в том, что лучи всегда складываются назад, а не вперед.

Шаг 2: монтируем приемник

Используя кусочек двусторонней клейкой ленты, прикрепите приемник где-либо на вашей раме (рис. 6.4). Мы рекомендуем разместить его внутри передней части рамы, это даст возможность свободного доступа к портам APM при дальнейшей сборке.



Обеспечьте прозрачный канал связи

Если вы собираете дрон из набора, отличающегося от Little Dipper, старайтесь поместить приемник так, чтобы он находился рядом с бортовым контроллером, и в то же время сохранялась прямая видимость передатчика, находящегося на земле. Помните, что некоторые материалы, например листовой карбон, могут экранировать радиоволны. Если у вашего приемника длинный антенный провод, выведите его через раму и дайте возможность свободно свисать, чтобы обеспечить наилучший прием.

Рис. 6.4. Приемник Spektrum установлен в носовой части рамы

Шаг 3: подключаем приемник

Возьмите пять сервопроводов и подключите их в соответствии с рис. 6.5. Соедините вход 1 с каналом Roll вашего приемника, вход 2 с каналом Pitch, вход 3 с каналом Throttle, вход 4 с каналом Yaw и, наконец, вход 5 с каналом Aux 1. Мы будем использовать этот канал для переключения между разными режимами.

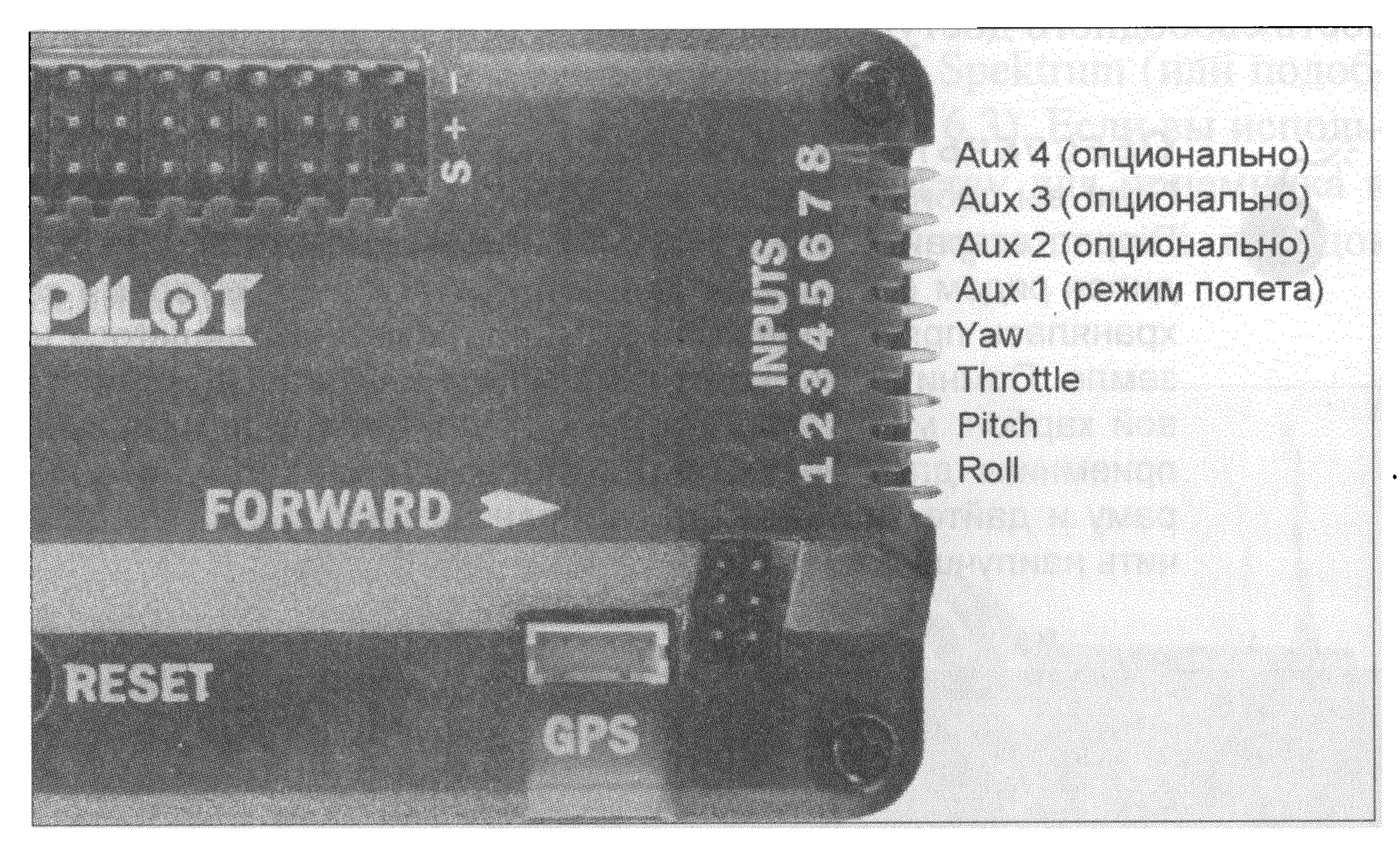


Рис. 6.5. Назначение входов APM

7 / Радиотелеметрия

Программный мониторинг и управление

Вероятно, вы уже заметили одно важное свойство передатчиков радиоуправления: они передают сигналы только в одном направлении, от передатчика к летательному аппарату. Чтобы получить доступ к любым бортовым данным нашего аппарата, мы используем специальный двунаправленный радиоканал, который называется *каналом радиотелеметрии*.

ВЫБЕРИТЕ ПРАВИЛЬНУЮ ЧАСТОТУ

Радиотелеметрия работает на двух стандартных частотах. В Соединенных Штатах мы обычно используем диапазон 915 МГц, тогда как в Европе разрешен диапазон 433 МГц. Эти стандарты установлены во избежание взаимных помех с другим электронным оборудованием. Работа на неправильной частоте может быть незаконной в отдельных частях света. Тщательно ознакомьтесь с законами своей страны, чтобы узнать, какой стандарт вы должны использовать[1].

Система телеметрии получает от бортового оборудования набор данных и отправляет его вниз, на землю, где эти данные могут быть отображены приложением наземной станции (рис. 7.1). Кроме того, некие данные — точки маршрута, задания для автономного полета, настройки конфигурации — могут быть переда-

---

[1] В России для свободного использования в телеметрии разрешен диапазон 433 МГц. В этом же диапазоне работает большинство брелоков автомобильных сигнализаций, шлагбаумов и т. д., поэтому в черте города диапазон 433 МГц сильно загрязнен помехами. — *Прим. пер.*

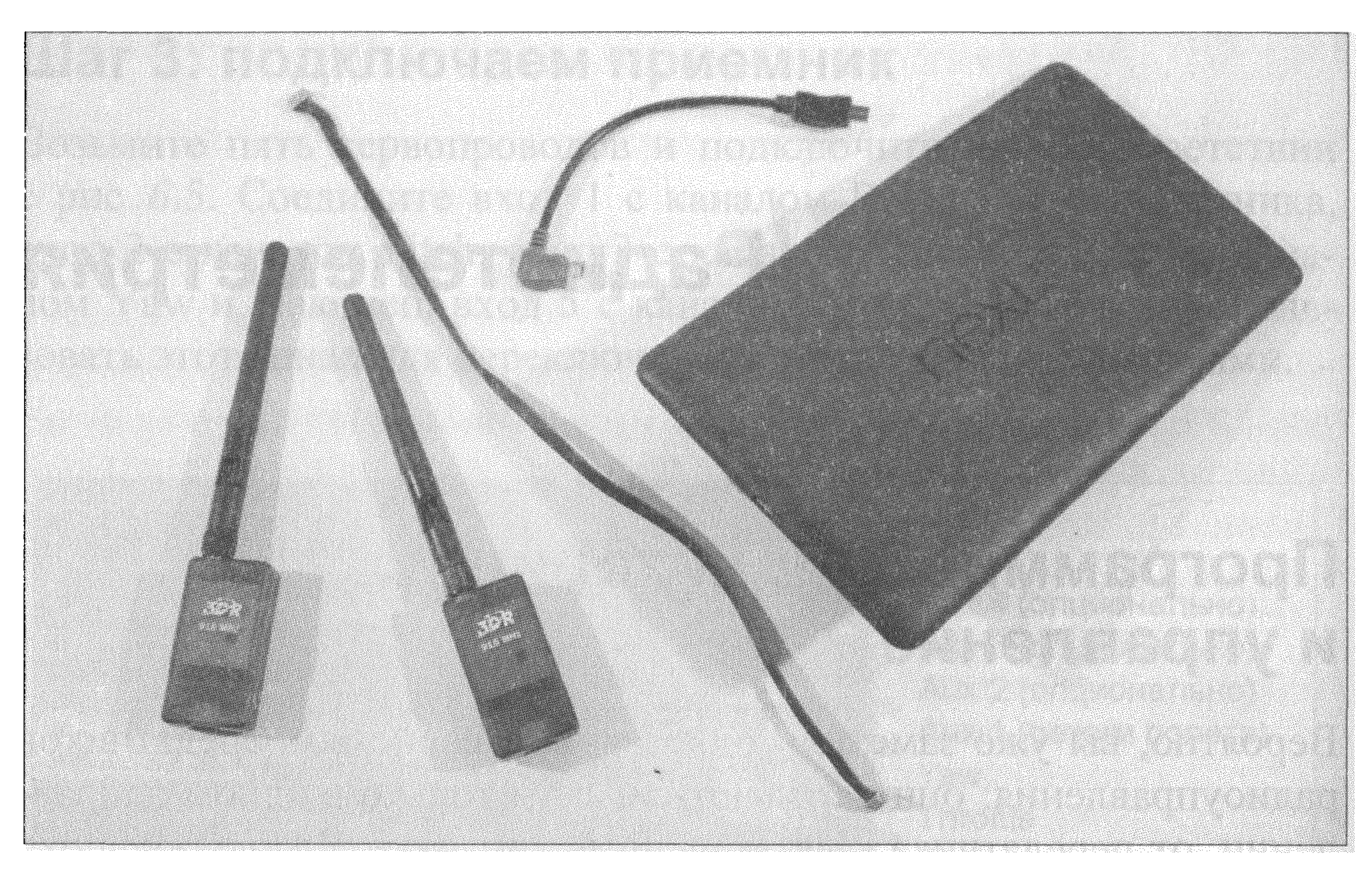


Рис. 7.1. Планшет с операционной системой Android можно использовать в качестве наземной станции, добавив модуль телеметрии и бесплатное приложение

ны на летательный аппарат при помощи того же самого приложения наземной станции.

Наличие доступа к этой информации, в то время как вы благополучно пребываете на земле, может быть огромным преимуществом. Это может помочь вам распознать проблему до того, как вы потеряете контроль. Данные, в которых нуждается ваша наземная станция, состоят из широты, долготы, высоты, текущего напряжения батареи, направления полета, скорости и продолжительности полета и многих других параметров. Вы можете найти полный перечень передаваемых данных в инструкции к вашему программному обеспечению наземной станции.

Пошаговые инструкции

На этом этапе сборки потребуются:

- 2–3 см двусторонней клейкой ленты;
- 2–3 см застежки-липучки;
- нейлоновые стяжки.

Шаг 1: монтируем радиомодуль наземной станции

Ваш набор для радиотелеметрии состоит из двух разных радиомодулей. Один предназначен для летательного аппарата, второй подключается к оборудованию наземной станции (рис. 7.2). Наземный радиомодуль может быть смонтирован произвольным образом; тем не менее, мы обычно используем "липучку" на обратной стороне планшета или ноутбука, на котором запущено приложение. Такой прием позволяет убирать радиомодуль, когда мы не используем приложение наземной станции.

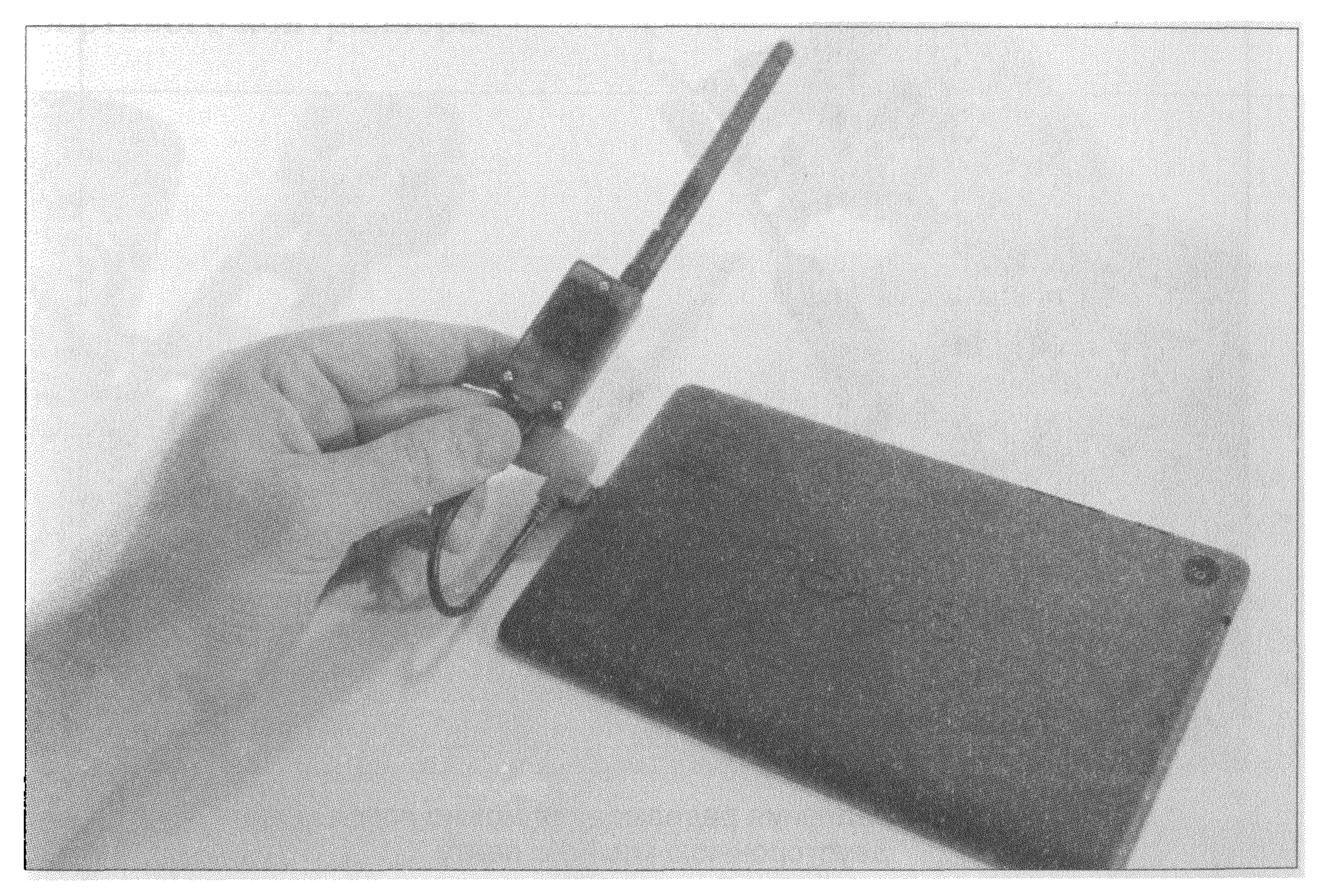


Рис. 7.2. Липучка удерживает радиомодуль на обратной стороне планшета во время использования и позволяет легко отстегнуть после окончания полетов

ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ

Поскольку APM — это открытый проект, для него разработано множество пакетов программ. Наши персональные фавориты — это Tower для планшетов на базе Android и Misson Planner для Windows PC. Если вы пользуетесь ноутбуком Mac, попробуйте APM Planner. Он очень похож на Mission Planner, но кроссплатформенный, со сборками для Windows, OS X и Linux.

Шаг 2: подготавливаем радиомодуль к монтажу

Мы предлагаем использовать двустороннюю клейкую ленту, чтобы прикрепить радиомодуль к раме (рис. 7.3). Отрежьте две маленьких полоски шириной 10–12 мм и приклейте на противоположные концы модуля. Расположение можно выбирать достаточно гибко, но мы советуем разместить радиомодуль на задней половине рамы. Таким образом, мы отнесем модуль телеметрии как можно дальше от приемника радиоуправления.

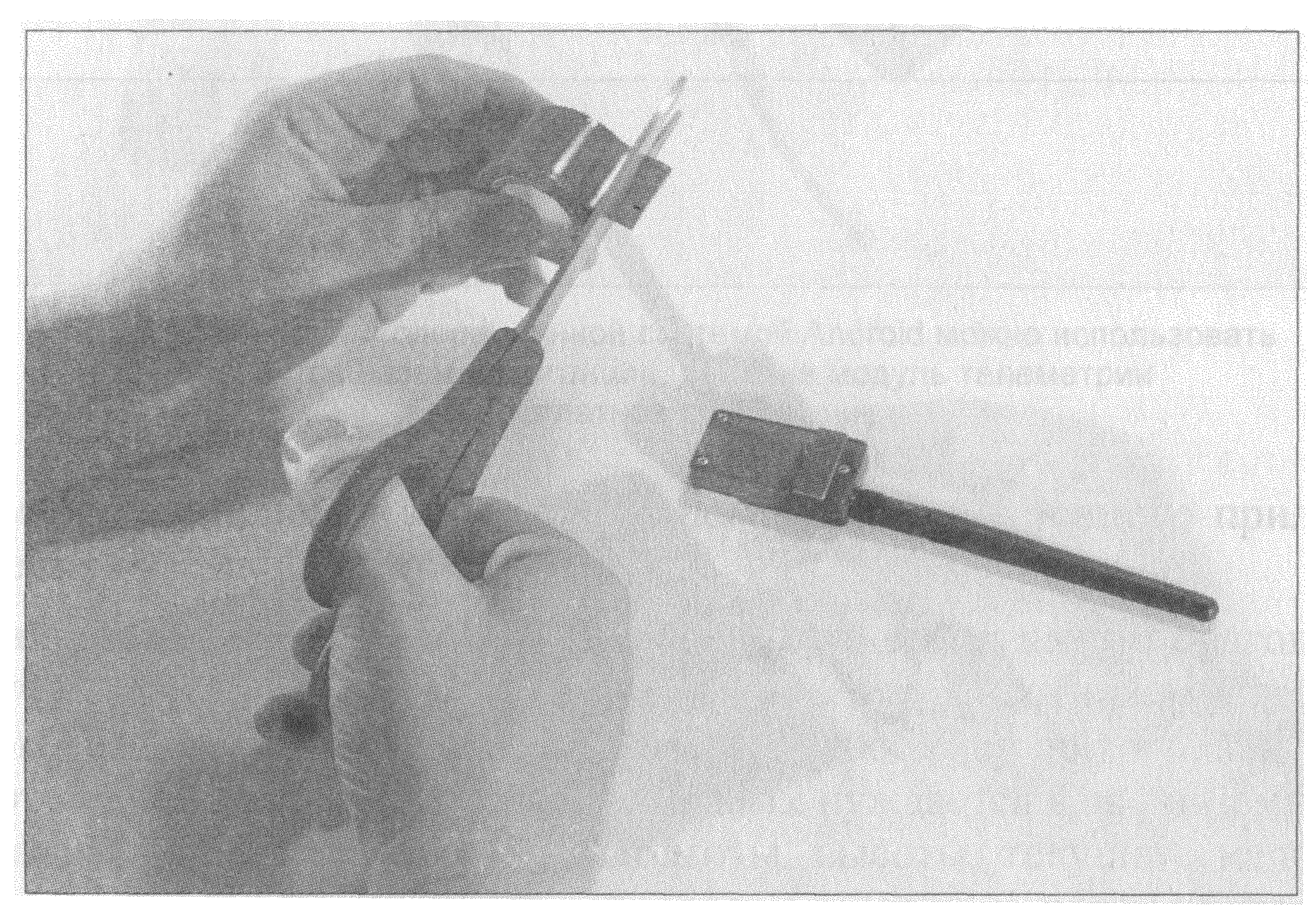


Рис. 7.3. Для крепления радиомодуля можно использовать двустороннюю клейкую ленту

Не приклеивайте радиомодуль прямо сейчас. Мы хотели приклеить клейкую ленту на место и иметь ее наготове, но нам по-прежнему нужно подключить соединительный провод, и это гораздо проще сделать, пока модуль не смонтирован.



Где направление "вперед"?

Удостоверьтесь, что монтируете упомянутые компоненты на правильное место. Вы можете легко распознать переднюю часть рамы, потому что там есть большой вырез под вибро-

изолированную панель, на которой будет крепиться камера. Еще один очевидный признак состоит в том, что лучи всегда складываются назад, а не вперед.

Шаг 3: подключаем радиомодуль

Подключение вашего нового модуля телеметрии невероятно простое (рис. 7.4). Найдите нужный кабель из набора и вставьте разъем в заднюю часть модуля. Этот кабель будет состоять из пяти проводников (четыре черных и один красный), но разъем на каждом конце состоит из шести позиций, одна остается пустой. Это нормально. Второй конец кабеля подключается к разъему бортового контроллера.

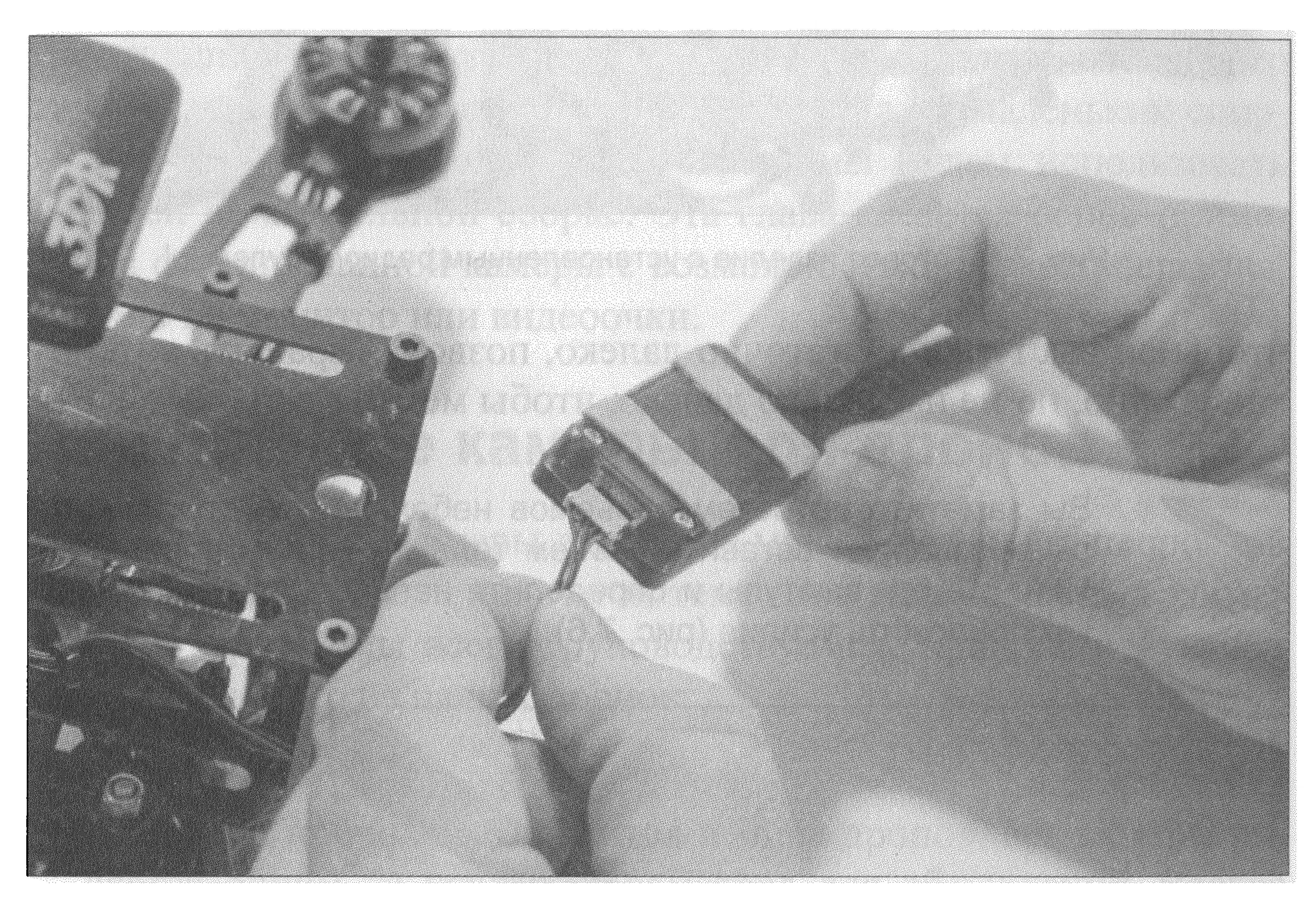


Рис. 7.4. Подключение модуля будет намного легче, если сделать это перед монтажом на плату

Шаг 4: монтируем бортовой радиомодуль

Теперь, когда радиомодуль подключен, идем дальше и монтируем его на задней части рамы (рис. 7.5). Двусторонняя лента должна надежно держать его на месте. Расположите модуль так,

Рис. 7.5. Готовое изделие с установленным радиомодулем

чтобы он выступал достаточно далеко, позволяя вращать антенну как угодно, но не настолько далеко, чтобы мешать вам.



Вы заметите по бокам разъемов небольшие выступы, которые позволяют вставить разъем только в одном положении. Найдите эти выступы и определите направление перед тем, как приложить усилие (рис. 7.6).



Рис. 7.6. Направляющие выступы по бокам каждого разъема позволяют подключить его только в правильном положении

8/Камера и оборудование FPV

Аэрофотосъемка сегодня является наиболее популярной областью применения дронов, поэтому обсуждению камер на дронах следовало бы посвятить отдельную книгу. Она должна охватывать широкий спектр оборудования, от больших кинокамер стоимостью 50 тыс. долларов для Голливуда до маленьких спортивных экшн-камер, одну из которых мы будем использовать в нашей показательной сборке. Эта глава касается основ применения фиксированной камеры с возможностью прямого вещания, обычно на монитор или видеоочки.

Популярные камеры для дронов

Выбор правильной камеры для дрона может выглядеть непростой задачей, если вы новичок в этой теме. Вот пять основных критериев, которыми мы всегда руководствуемся, выбирая новую камеру для любого из наших дронов.

- *Вес и размер.*

  Как и для прочих компонентов в мире дронов, вес камеры является одним из первых параметров для обсуждения. Всегда желательно иметь более легкий компонент.

- *Дистанционный спуск.*

  Снимая видео, вы можете просто запустить видеозапись перед взлетом и остановить после посадки. Однако это несколько сложнее в случае фотосъемки. Чтобы сделать снимки, нужно периодически нажимать на спуск затвора камеры во время полета. Одним из популярных решений является встраивание

в камеру *интервального таймера* (интервалометра). По сути, это таймер, который спускает затвор камеры *X* раз в секунду. Другие популярные решения представляют собой качалку сервомашинки, которая физически нажимает на кнопку спуска камеры или инфракрасный пульт, который смонтирован рядом с камерой и дистанционно управляется с земли через свободный радиоканал.

- *Потоковое видео.*

  Еще одним критически важным свойством любой камеры для дрона является возможность выдавать потоковое видео через какой-либо выход на корпусе. Это может быть стандартный выход видео высокого разрешения (HDMI) или аналоговый видеосигнал через один из многочисленных вариантов разъемов. Нравится вам это или нет, но в большинстве случаев предпочтителен аналоговый сигнал. Причина в том, что наш видеопередатчик может работать только с аналоговым сигналом.

- *Разрешение камеры.*

  Если в вашем распоряжении несколько камер, соответствующих перечисленным выше требованиям, вы должны проанализировать общее разрешение. Если речь идет о видео, это простая задачка. Сегодня даже маленькие спортивные экшн-камеры могут иметь разрешение 4000 точек по горизонтали. Фотосъемка — это совершенно другая история. Всегда проверяйте разрешение в мегапикселях, чтобы убедиться, что камера вам подходит.

- *Стоимость.*

  После того как вы сократили список потенциальных кандидатов, пользуясь первыми четырьмя параметрами, пора взглянуть на цены. Стоимость может варьироваться внутри каждой категории, поэтому проведите небольшое исследование, чтобы сделать правильный выбор. Приготовьтесь заплатить[1] до 100 долларов за маленькую камеру-брелок, между 100 и 500 дол-

[1] Цены в американских розничных магазинах. — *Прим. пер.*

ларами за достойную спортивную экшн-камеру, что-то между 300 и 1000 долларов за малогабаритную камеру стандарта Four Thirds и начиная с 500 долларов за цифровую зеркальную камеру (DSLR).

Малогабаритные камеры стандарта Four Thirds

В 2002 году был обнародован полностью цифровой открытый стандарт Four Thirds (четыре трети), который обеспечивает взаимозаменяемость корпусов камер и объективов от разных производителей (рис. 8.1). Название стандарта образовано от соотношения сторон светочувствительной матрицы 4:3, которая физически на 30–40% меньше, чем у полноразмерных зеркальных камер. Тем не менее эта матрица почти в 9 раз больше, чем у компактных "цифромыльниц".

Для мира беспилотных летательных аппаратов основная выгода от стандарта Four Thirds состоит в том, что матрица меньшего

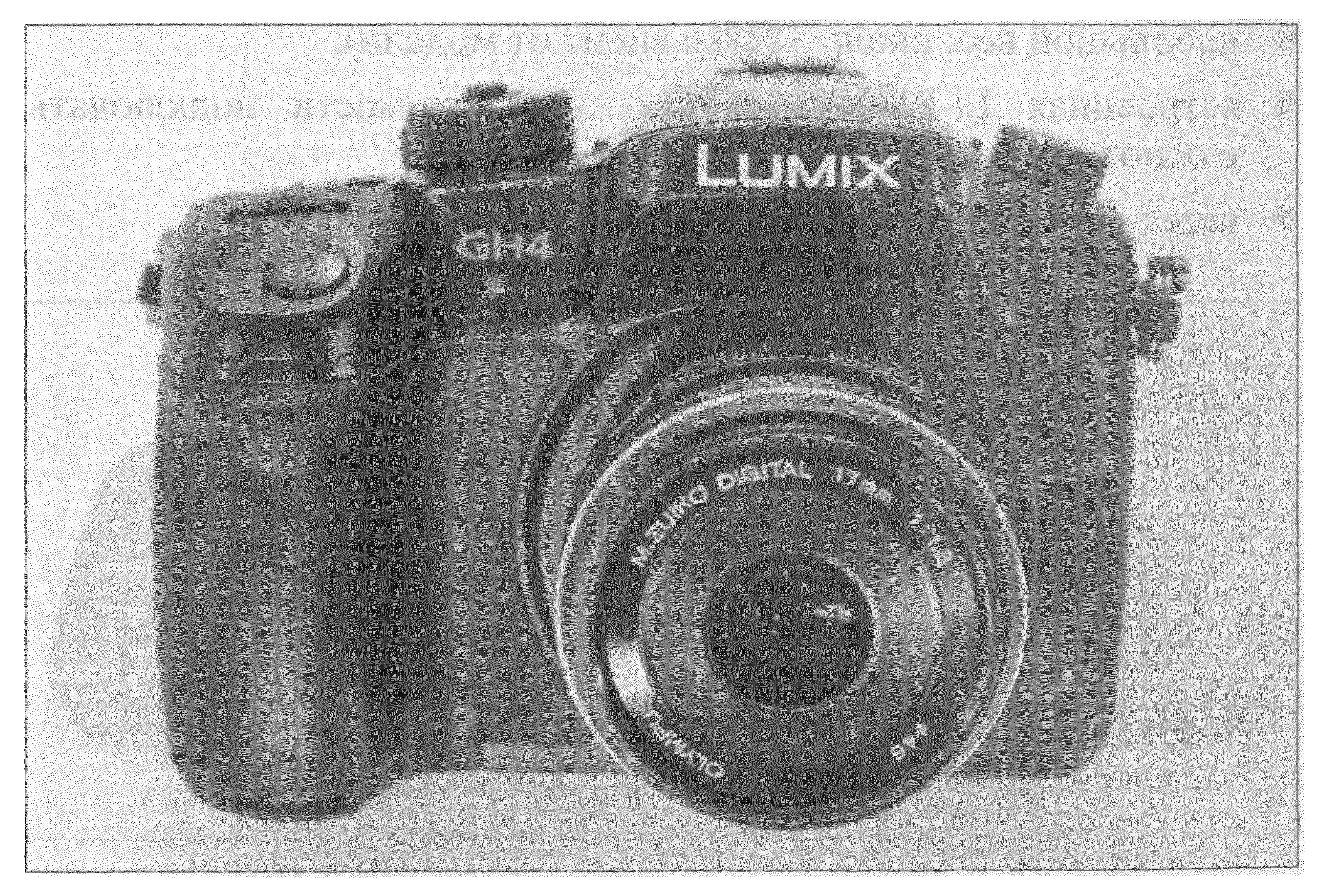


Рис. 8.1. Очень популярная камера стандарта 4:3, корпус Lumix GH4 с широкоугольным 17-миллиметровым объективом Olympus

размера позволяет разработать более легкие и малогабаритные камеры. В свою очередь, уменьшенные линзы позволяют свету попадать на матрицу ближе к перпендикулярному направлению. Это увеличивает глубину резкости и уменьшает риск появления расфокусированных кадров. Также это увеличивает яркость изображения в углах кадра и краевое разрешение. В общем, вы можете получить высококачественные фотографии с помощью относительно небольшой камеры.

В нашей демонстрационной конструкции мы будем применять спортивную экшн-камеру Mobius или камеру-брелок 808.

Экшн-камеры Mobius

Для нашего маленького квадрокоптера мы рекомендуем использовать камеру Mobius или другую аналогичного веса (рис. 8.2). Эта конкретная модель отлично размещается на квадрокоптере размера Little Dipper, поскольку мало весит и проста в использовании. Несколько ключевых преимуществ:

- малые габариты: 61×35×18 мм;
- небольшой вес: около 38 г (зависит от модели);
- встроенная Li-Po-батарея: нет необходимости подключать к основной батарее;
- видео Full HD: 1080p/30FPS; 720p/60FPS;

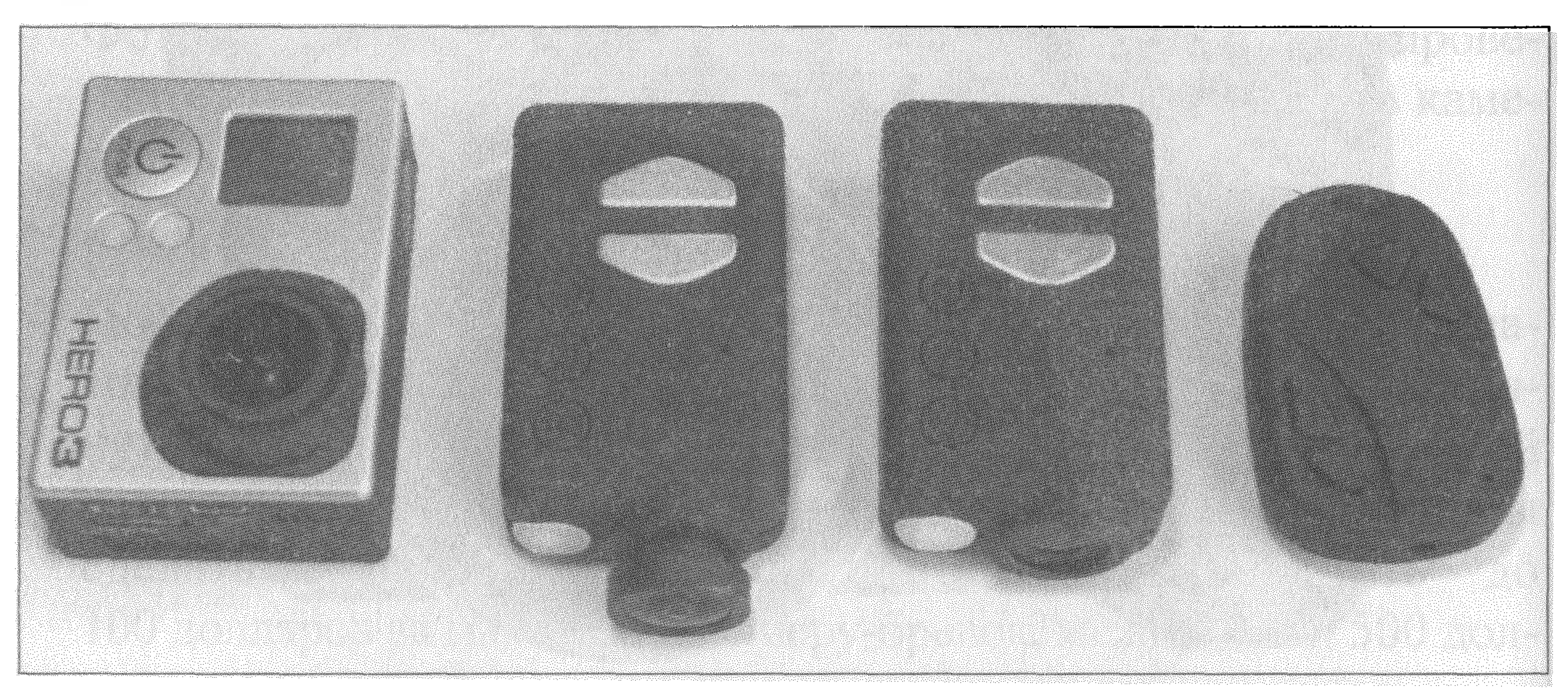


Рис. 8.2. Экшн-камеры, слева направо: GoPro Hero 3, Mobius с широкоугольным объективом, Mobius со стандартным объективом, камера-брелок 808

- встроенный интервалометр для фото, разрешение снимка до 2304×1536 точек; не требуется внешний спуск, затвор сам срабатывает заданное число раз в секунду;
- видеовыход работает во время записи видео, идеально для подключения видеопередатчика.

FPV для прямой трансляции

Ваш дрон обладает фантастической способностью демонстрировать происходящее в режиме реального времени. Это достигается установкой видеопередатчика. Передатчик (рис. 8.3) получает видеосигнал с камеры и вещает его в отдельном частотном диапазоне на специальный приемник, находящийся на земле. Далее сигнал с приемника поступает на монитор или видеоочки.

По традиции аналоговый видеоканал образуется парой "передатчик–приемник", работающей на частоте 5,8 ГГц. Позднее некото-

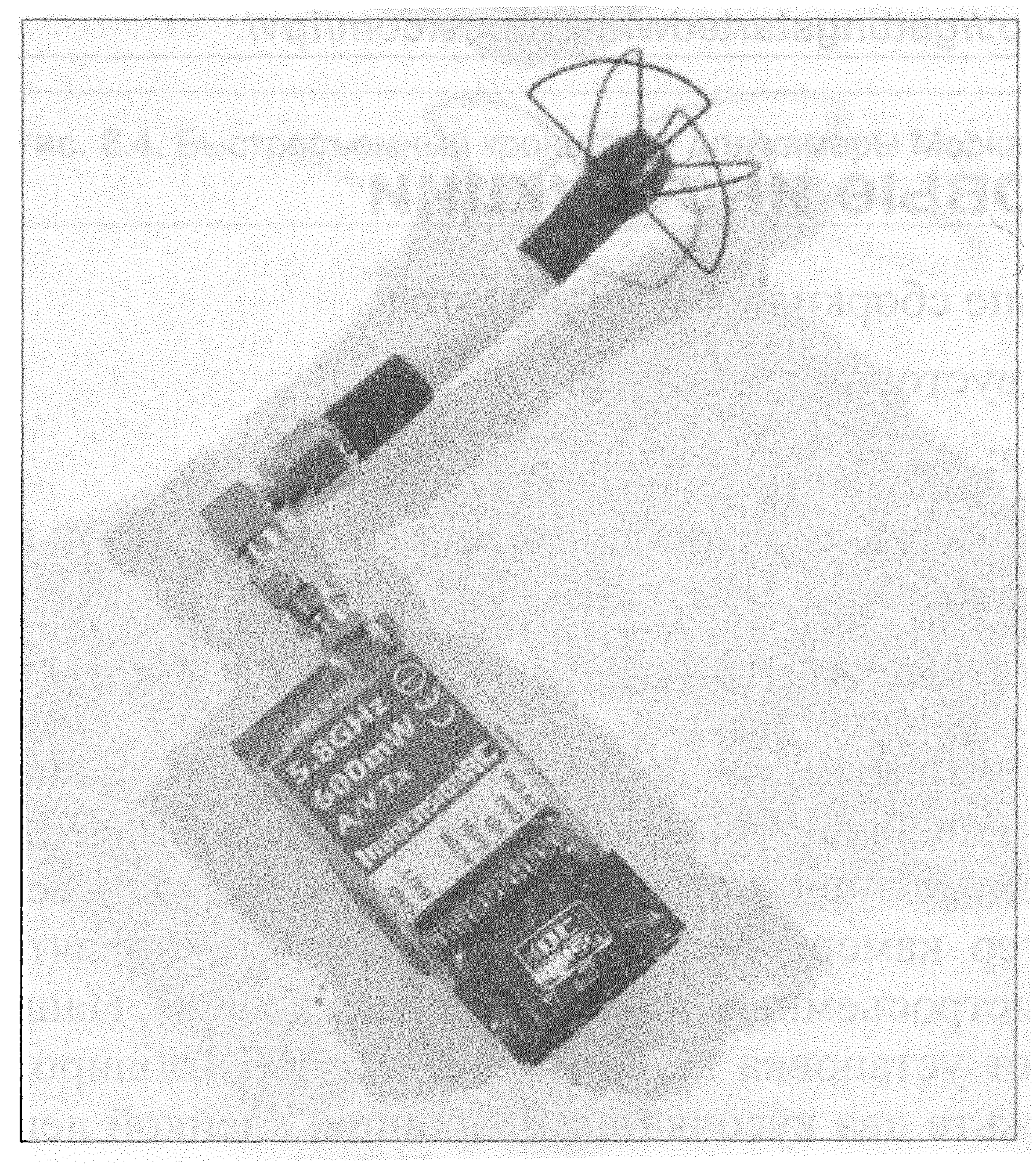


Рис. 8.3. Передатчик на частоту 5,8 ГГц с опциональной компланарной антенной правого вращения

5 Зак. 1452

рые производители начали использовать канал беспроводной сети Wi-Fi и мобильные устройства для отображения видео. Общая архитектура системы остается неизменной: вы по-прежнему имеете бортовой передатчик, который передает сигнал на наземный приемник для последующего отображения на том или ином мониторе.

Что можно втиснуть в узкие рамки?

Поскольку мы строим маленький автономный Little Dipper, наши возможности для размещения дополнительного оборудования очень ограничены. Когда у вас есть бортовой контроллер APM, GPS и бортовая камера, то вы на самом деле можете добавить только еще один предмет. Короче говоря, вы должны сделать выбор между передатчиком FPV или модулем телеметрии, и мы не рекомендуем устанавливать их одновременно. Ранее в книге мы уже прошли через этапы установки модуля телеметрии, поэтому не будем описывать процесс монтажа видеопередатчика FPV и перейдем к следующим этапам сборки. Тем не менее, если вы хотите узнать больше про установку видеопередатчика или иного оборудования FPV, ознакомьтесь на нашем сайте с дополнительными материалами: **http://gettingstartedwithdrones.com/fpv/**.

Пошаговые инструкции

На этом этапе сборки нам потребуются:

- 2–3 см двусторонней клейкой ленты;
- ножницы;
- около 30 см прочной капроновой нити (или зубной нити).

Шаг 1: устанавливаем площадку камеры

Как вы помните, в *главе 2* говорилось, что рама нашего квадрокоптера оснащена виброизолированной площадкой для крепления небольшой экшн-камеры. Если вы устанавливаете на свой квадрокоптер камеру Mobius, она должна поставляться в комплекте с быстросъемным кронштейном (рис. 8.4). Нашим первым шагом будет установка кронштейна на виброизолированную панель. Отрежьте два кусочка двусторонней клейкой ленты длиной около 10 мм и приклейте ко дну кронштейна. Теперь удалите защитную пленку и прижмите кронштейн к панели (рис. 8.5).



Рис. 8.4. Быстросъемный кронштейн для камеры Mobius

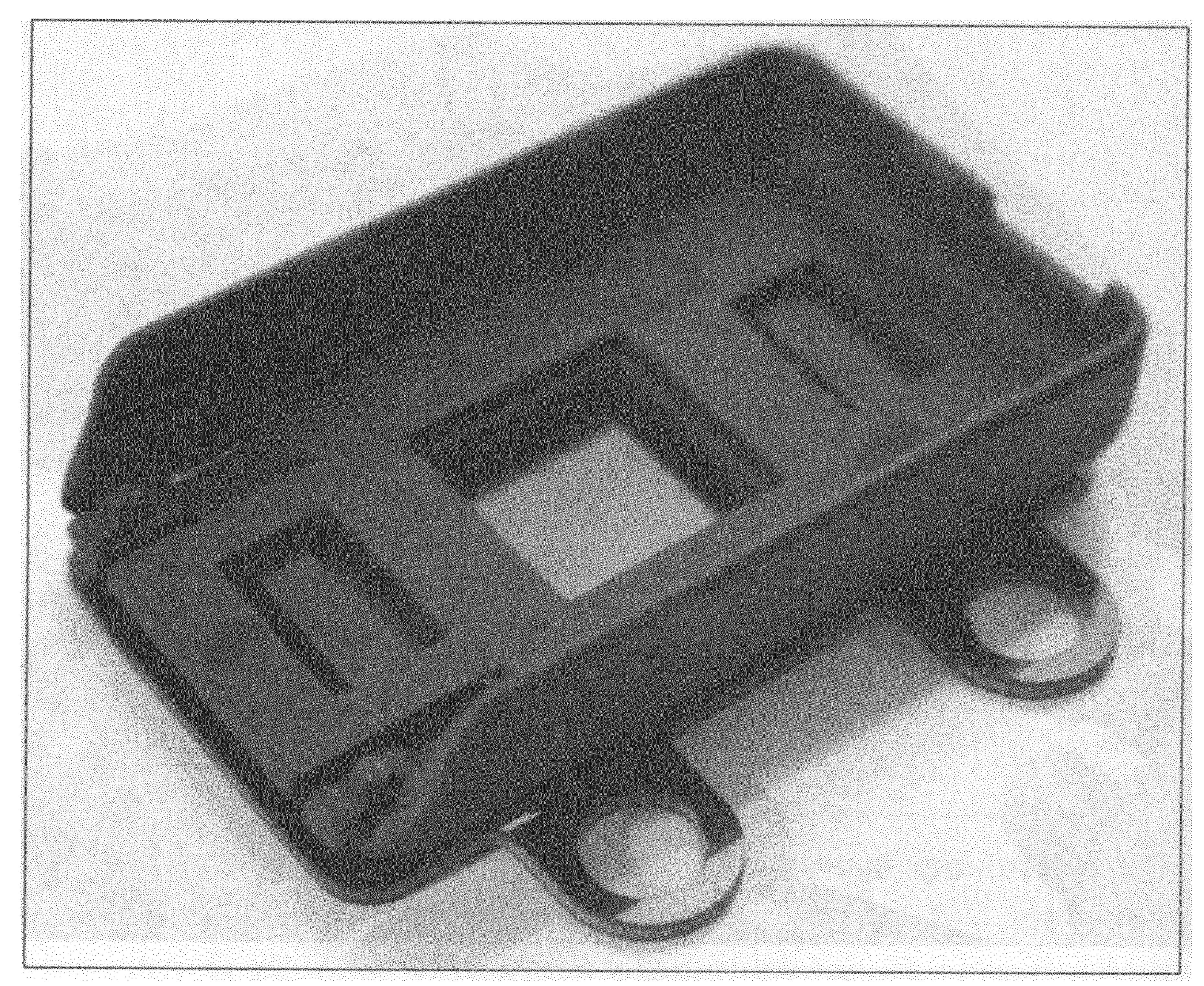


Рис. 8.5. Кронштейн смонтирован на виброизолированной панели



УБЕДИТЕСЬ В ПРАВИЛЬНОСТИ!

Двустороннюю клейкую ленту очень трудно отрывать от небольших пластиковых деталей, таких, как кронштейн камеры. Уделите немного времени, чтобы удостовериться, что вы размещаете кронштейн на панели правильно и ровно. Если вы этого не сделаете, корректировка может стать большой головной болью. Никто ведь не хочет, чтобы камера выглядела перекошенной на раме!

Шаг 2: крепим виброизолированную панель

Если вы этого еще не сделали, сейчас самое время прикрепить виброизолированную панель к резиновым амортизаторам на раме. Быстро и просто это можно проделать при помощи тонкой капроновой нити или зубной нити, чтобы протянуть шляпки амортизаторов через монтажные отверстия, как показано на рис. 8.6. Повторите этот шаг для всех четырех амортизаторов.

Рис. 8.6. Крепим виброизолированную панель на резиновые амортизаторы



Смотрите ли вы в правильную сторону?

Убедитесь, что при установке ориентировали камеру в правильном направлении. Кронштейн имеет три стенки по бокам и одна сторона открыта, чтобы задвигать камеру. Открытая сторона кронштейна должна быть направлена вперед в сторону полета.

Шаг 3: вставляем камеру в быстросъемный кронштейн

Теперь у нас есть кронштейн для камеры, приклеенный к виброизолированной панели — эта панель установлена на резиновые амортизаторы. И все, что нам осталось, — это вставить камеру в кронштейн (рис. 8.7). Проследите, чтобы объектив камеры обязательно был направлен в сторону, противоположную кронштейну, затем задвиньте камеру под пять небольших выступов на боковых стенках. Эти выступы будут удерживать камеру, когда она задвинута на место. Теперь осторожно прижмите камеру до упора назад, чтобы защелкнулись фиксаторы.



Рис. 8.7. Камера Mobius и быстросъемный кронштейн

9/Настройка бортового контроллера APM

На этом этапе основная часть физической сборки завершена. Настало время перейти к приложению Mission Planner и заняться настройкой автопилота. По окончании этого процесса нам останется доделать несколько мелочей, и наш квадрокоптер готов к полету!

Эта глава будет структурирована несколько иначе, чем предыдущие, поскольку мы будем следовать более детальным пошаговым инструкциям, прежде чем перейдем к остальным функциям Mission Planner.

Пошаговые инструкции

На этом этапе нам потребуются:

- ноутбук с Windows 7 или более новой ОС (если у вас есть только Mac, попробуйте разбить диск на разделы при помощи Boot Camp и установить Windows как вторую операционную систему);
- самая последняя версия приложения Mission Planner;
- кабель USB Micro-B.

Шаг 1: обновление прошивки

Перво-наперво мы должны обеспечить наличие самой новой версии прошивки. В зависимости от даты производства контроллер APM может быть прошит произвольной версией прошивки. Не рискуйте, используя прошивку, полученную при покупке. Прой-

дите процедуру обновления и сможете быть уверены, что стоите на правильном пути:

1. Включите ноутбук и запустите Mission Planner.
2. Подключите контроллер APM к ноутбуку при помощи USB-кабеля[1].
3. Перейдите на вкладку **Initial Setup** (Начальные настройки) и выберите команду **Install Firmware** (Установить прошивку) в левом столбце меню.
4. При помощи графической кнопки в середине экрана выберите тип прошивки, соответствующий вашему летательному аппарату (рис. 9.1).

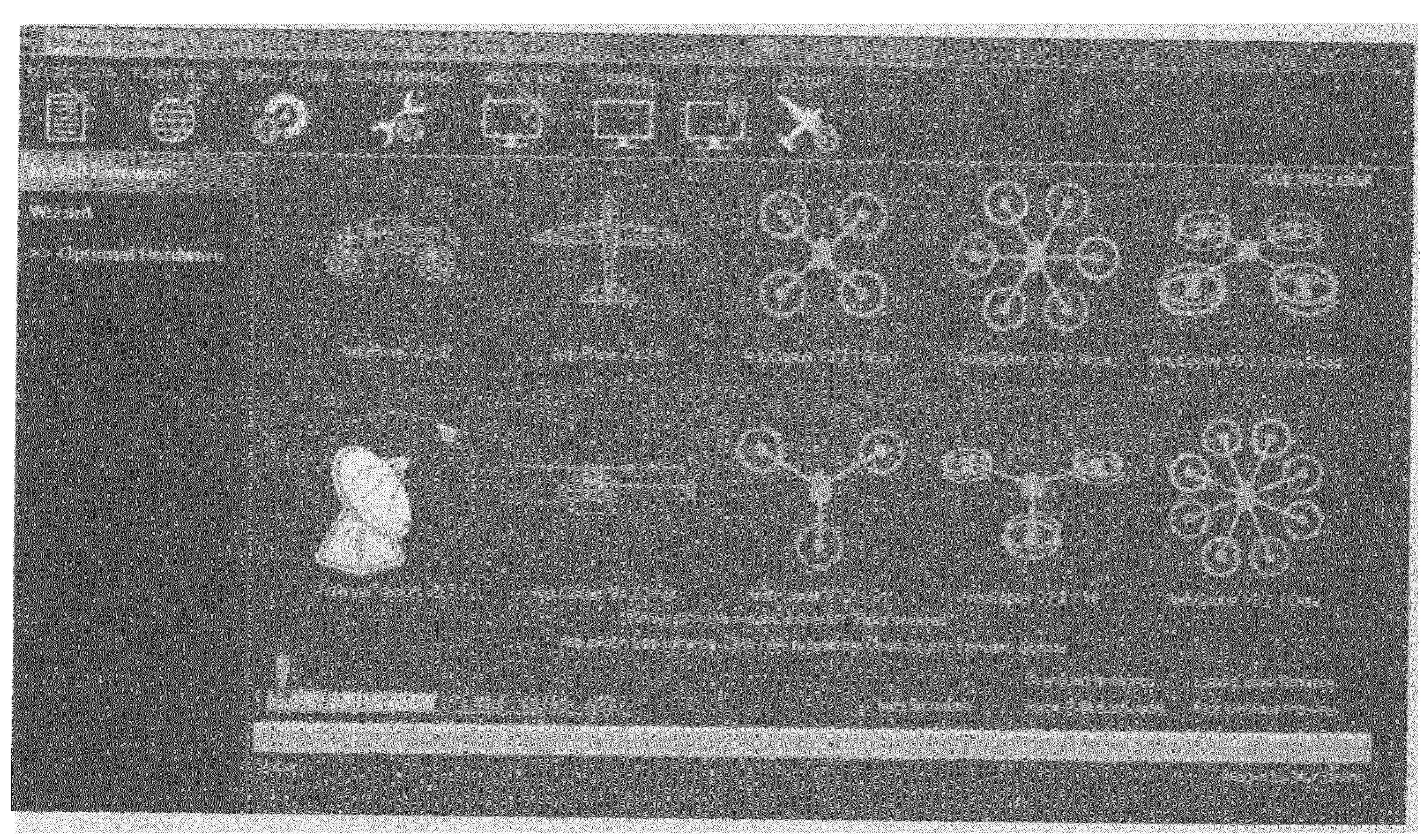


Рис. 9.1. Выберите тип прошивки для обновления (в нашем случае ArduCopter Quad)

5. Вы получите запрос на подтверждение обновления. Нажмите кнопку **Yes** для продолжения (рис. 9.2).

---

[1] В зависимости от версии бортового контроллера при первом подключении может потребоваться установка драйвера конвертера USB–COM FT232 (FTDI). Этот драйвер обычно устанавливается средствами Windows автоматически. Возможно наличие в контроллере другой микросхемы конвертера. В таком случае скачайте соответствующий драйвер с сайта производителя. — *Прим. пер.*

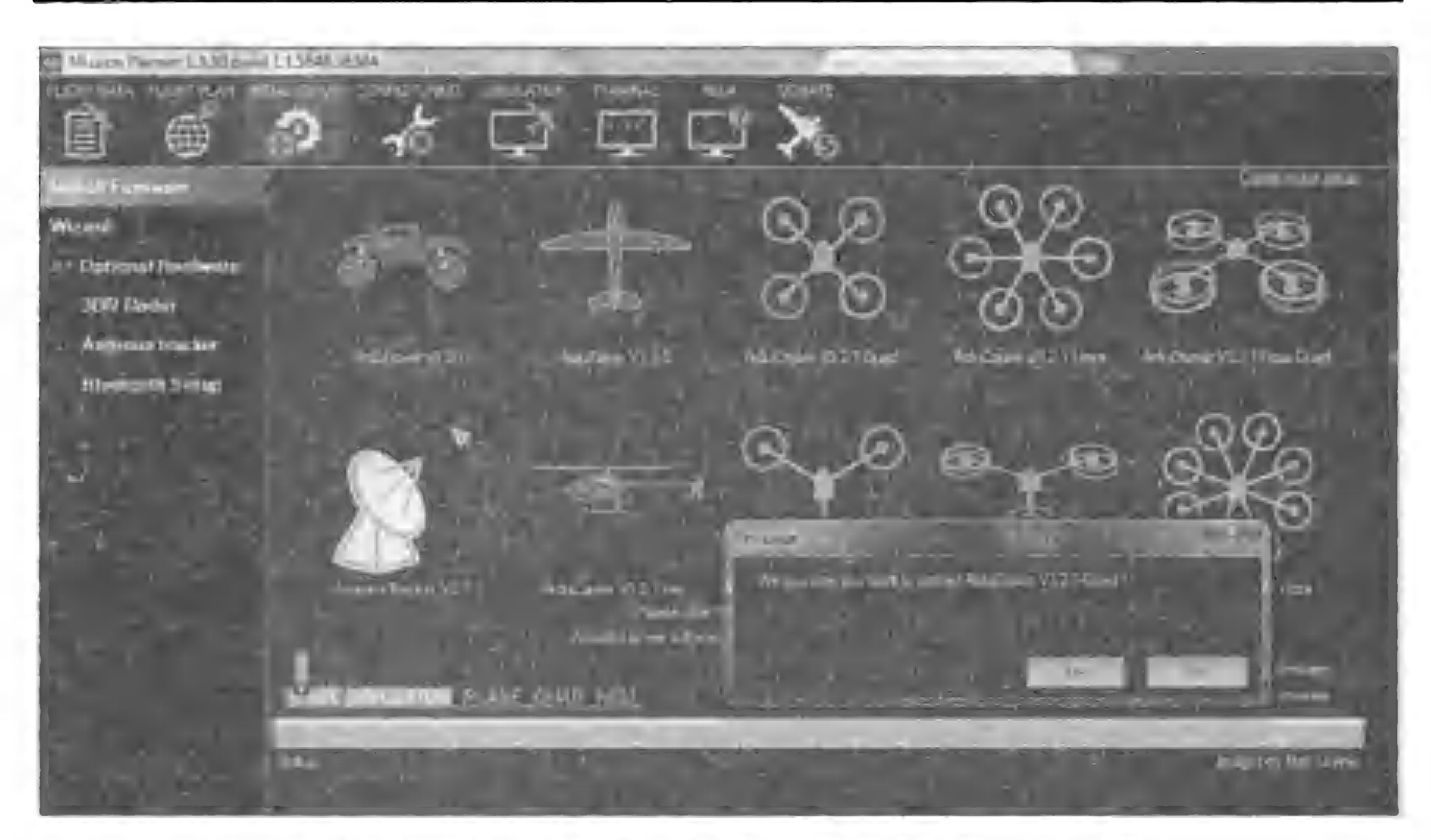


Рис. 9.2. Подтвердите обновление, нажав кнопку **Yes**

6. Mission Planner найдет самую последнюю версию прошивки APM, подходящую для вашего оборудования, и запустит процесс обновления. Нажмите кнопку **OK** для продолжения (рис. 9.3).



Рис. 9.3. Mission Planner автоматически найдет самую последнюю прошивку, поддерживаемую контроллером APM

7. Начнется процесс загрузки прошивки (рис. 9.4).
8. Когда прошивка загрузится, она должна быть проверена (рис. 9.5).

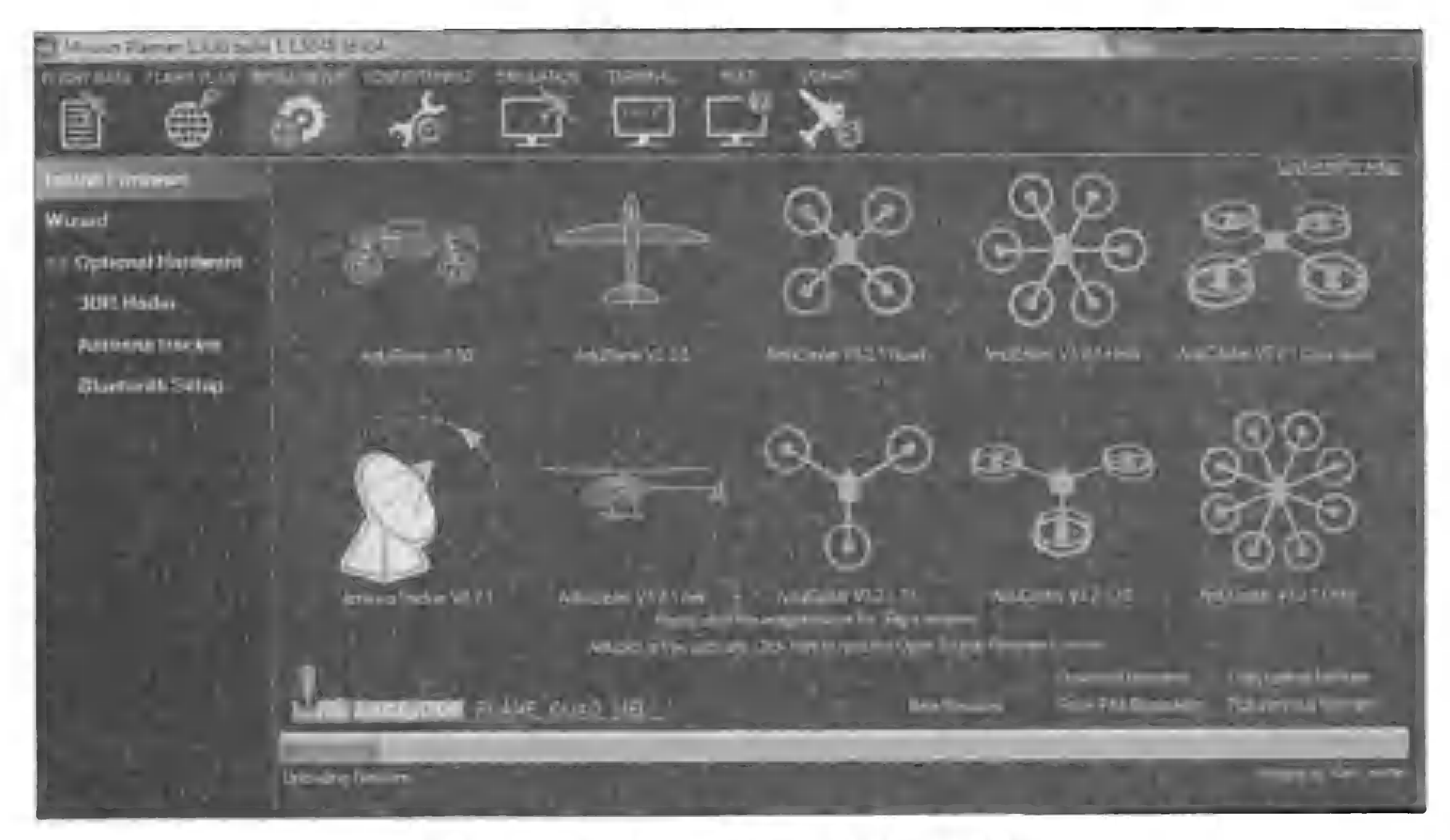


Рис. 9.4. Процесс обновления запущен

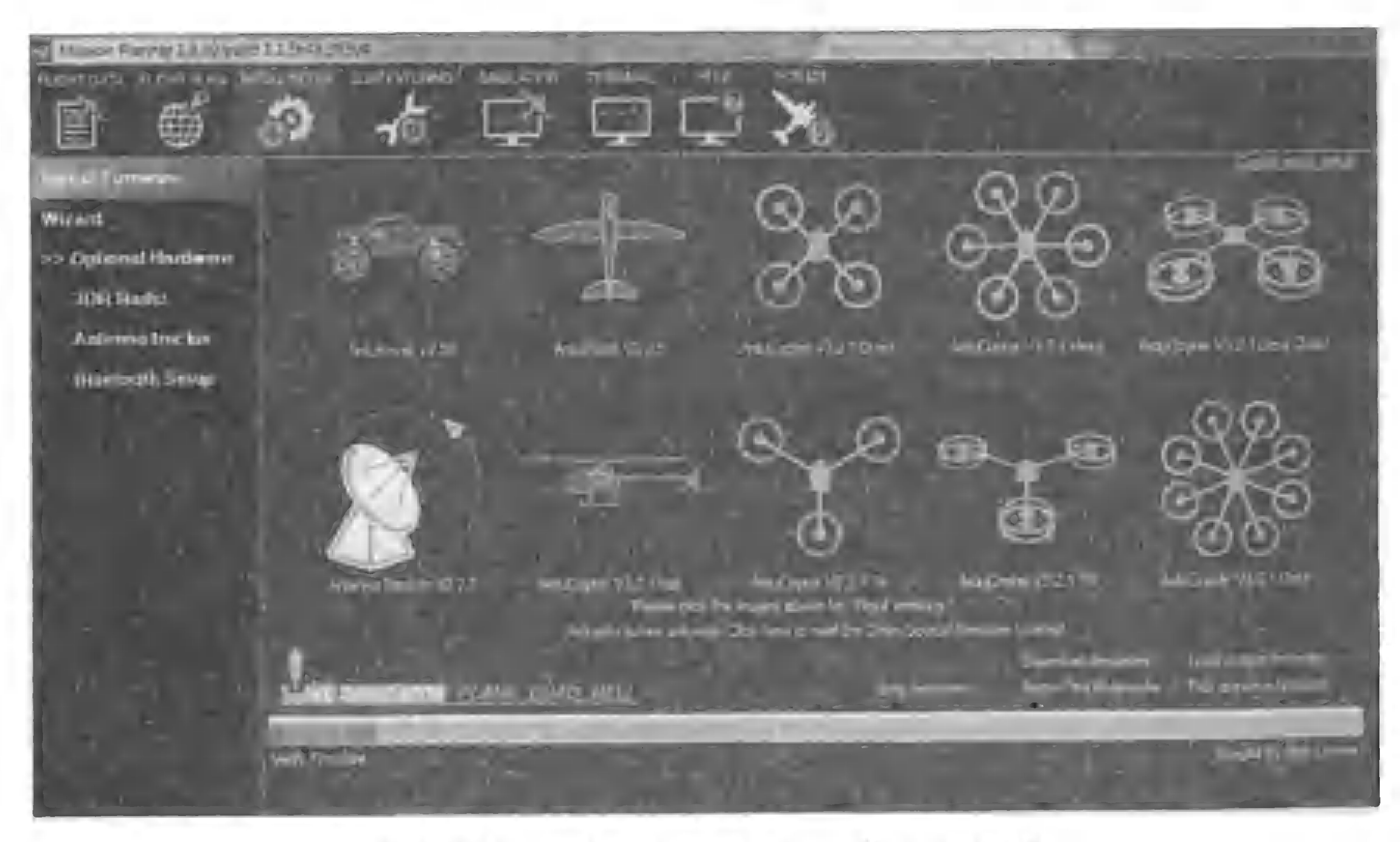


Рис. 9.5. Проверка загруженной прошивки

9. После завершения процесса обновления Mission Planner может выдать предупреждение о необходимости проделать некоторые дополнительные шаги, чтобы обновление вступило в силу (рис. 9.6).

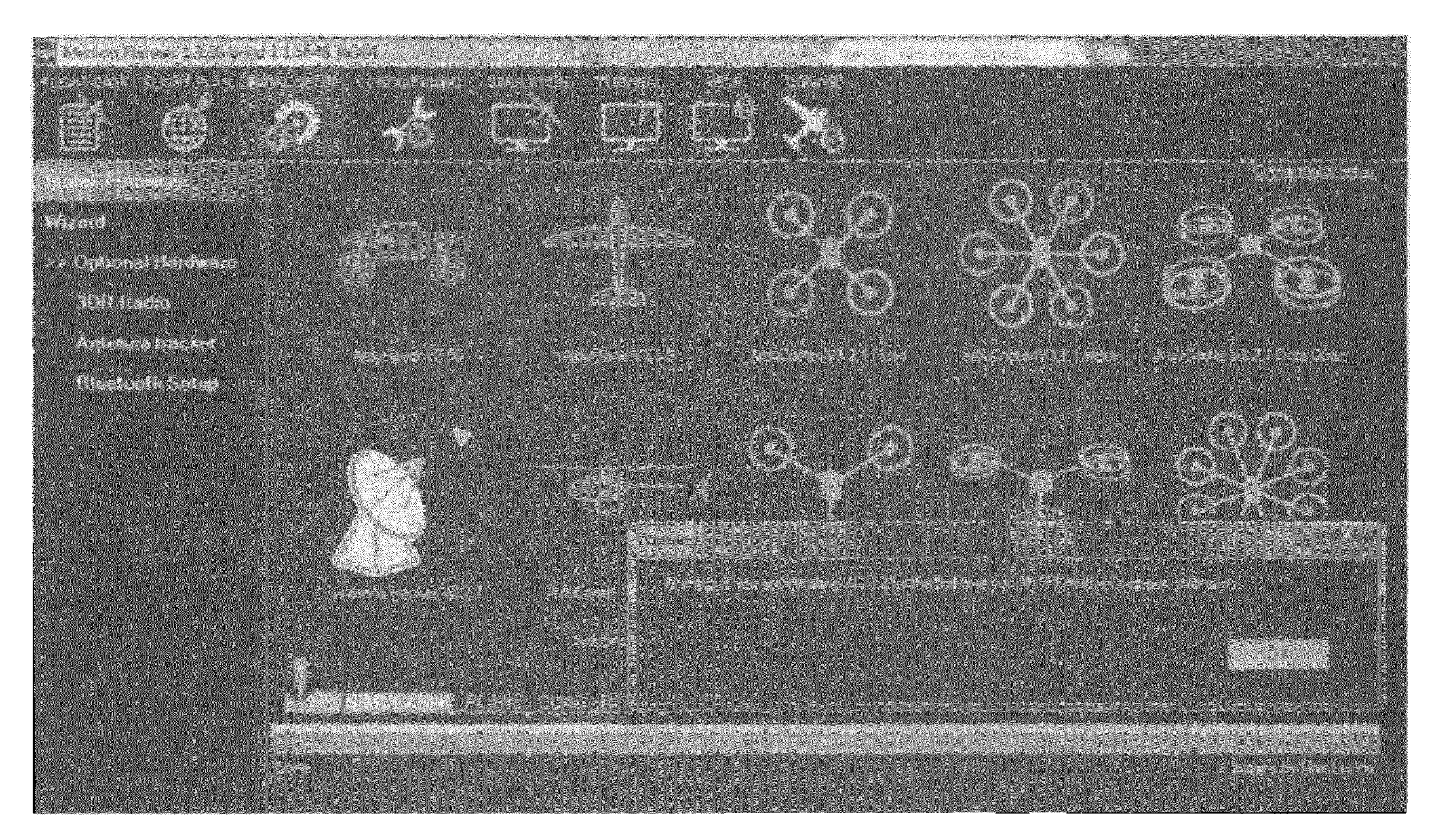
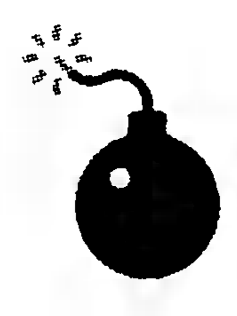


Рис. 9.6. Мы все закончили, нажмите кнопку **OK** для продолжения



Не отключайте кабель USB до завершения процедуры обновления. Очень важно внимательно следить за строкой прогресса обновления, чтобы увидеть, когда оно завершено, и никогда не прерывать процесс.

Скорость обмена и COM-порты

Всякий раз при подключении вашего контроллера APM к Mission Planner вы должны указать правильное значение скорости обмена, с которой будет работать ваше соединение. Скорость показывает, сколько бит в секунду передается в ту или иную сторону. Общепризнанным правилом является использование скорости 115 200 для связи через кабель и 57 600 для связи по каналу радиотелеметрии. Некоторые приложения могут автоматически распознавать и настраивать тип соединения, но Mission Planner требует ввести этот параметр.

Кроме того, вам следует знать номер последовательного COM-порта ноутбука, к которому подключен APM. Mission Planner, к счастью, умеет самостоятельно находить и назначать правильный порт по умолчанию,

но есть небольшая тонкость. Вы должны подключить АРМ *до запуска* Mission Planner. Если подключение не работает, обратитесь к настройкам вашего компьютера и найдите все открытые СОМ-порты. Вы должны увидеть, что нужный порт обозначен, как Arduino Mega. Запомните номер этого порта и используйте в будущем.

Шаг 2: завершение обязательных настроек

Теперь, когда мы обновили прошивку, можно начинать с чистого листа. Давайте же пройдем процедуру обязательной настройки и подготовим нашу птицу к полету!

На самом деле существует два способа выполнить этот шаг. Первый способ — это использовать Мастер настройки (**Wisard**). Его команда расположена непосредственно под командой **Install Firmware**, которой вы пользовались на предыдущем шаге. Второй способ — сделать это вручную. В нашем примере мы рассмотрим процесс ручной настройки, но оба способа, по сути, одинаковы. Мастер всего лишь вынуждает вас проделать весь комплекс действий, тогда как при ручном подходе вы можете выбирать нужные шаги. Так или иначе, мы настраиваем новый коптер, поэтому должны пройти все шаги, но в будущем может случиться так, что вам потребуется повторить один или два пункта настройки — например, GPS или калибровку датчиков — и мы хотим вам показать, как это делается, с самого начала.

Прежде чем настроить что-либо, мы должны подключить контроллер АРМ к приложению Mission Planner. До того как нажать кнопку **Connect** в правом верхнем углу приложения, следует выбрать СОМ-порт и указать скорость обмена. Когда соединение установится, в левой колонке появятся новые пункты меню, включая **Mandatory Hardware** (Обязательное оборудование) и **Optional Hardware** (Дополнительное оборудование).

Шаг 2.1: выбираем тип рамы

Нажмите команду **Frame Type** (Тип рамы) в левом столбце и выберите категорию **X** (рис. 9.7).

Игнорируйте установки по умолчанию

Вы можете видеть, что после выбора типа рамы справа в окне программы появится группа параметров **Default Settings** (Установки по умолчанию). Можете проигнорировать их при работе с нашим примером. Эти установки используются, как типовой набор готовых настроек для некоторых готовых дронов "из коробки". Например, если вы владелец квадрокоптера 3D Robotics Iris+, здесь вы можете найти набор настроек, разработанных специально для этой модели. К сожалению, Mission Planner не содержит готовых настроек для нашей модели, поэтому мы должны выполнить их вручную. Это хорошо: вы приобретете больше навыков!

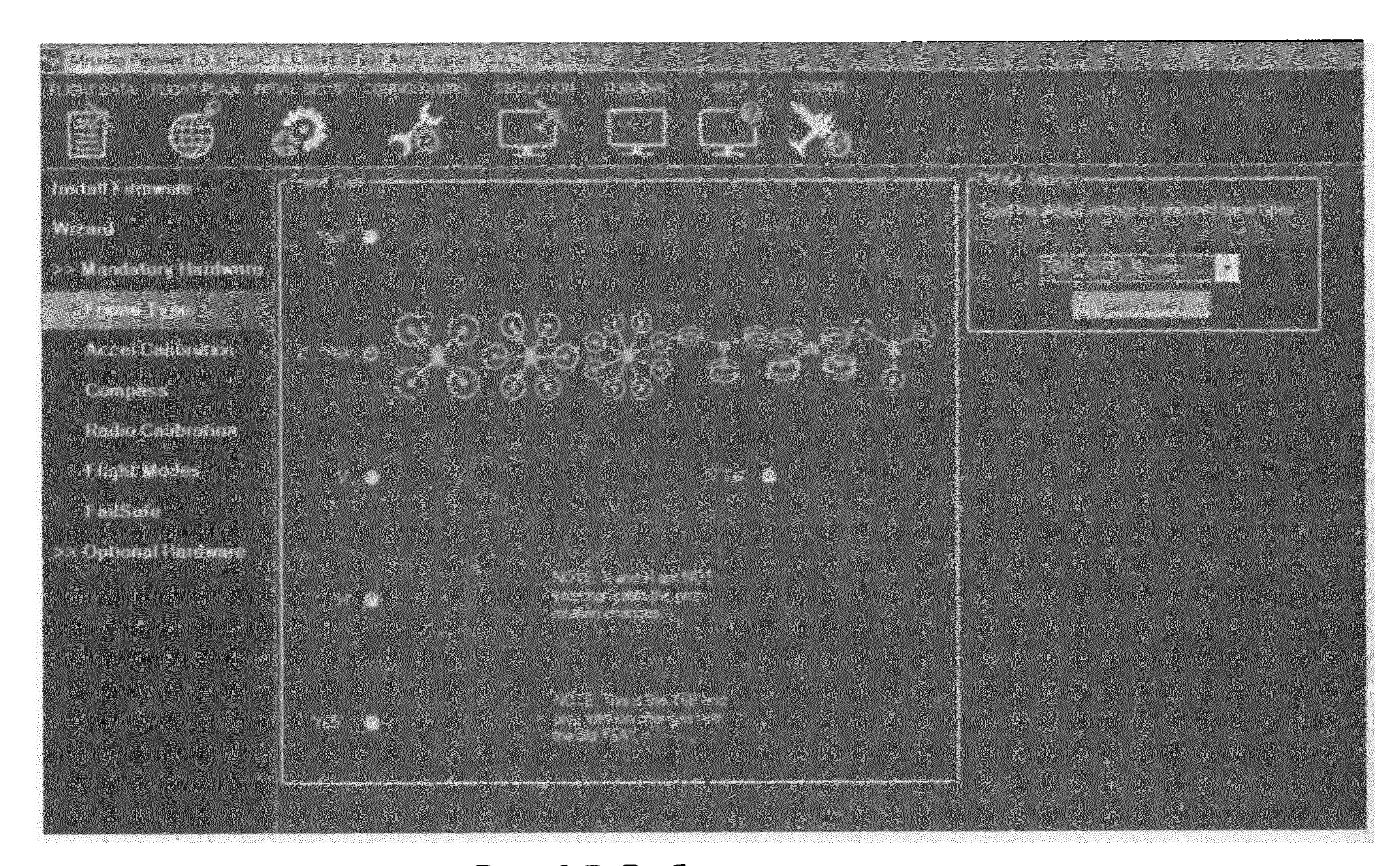


Рис. 9.7. Выберите тип рамы

Икс против плюса

Выбрав X-образный тип рамы, вы наверняка заметили, что стало доступно несколько опций. Наиболее употребимые маркированы обозначениями "X" и "+". Различие основано на конфигурации рамы и креплении контроллера. Если вы мысленно проведете линию вдоль корпуса APM и продлите ее вперед, в конфигурации "X" линия будет проходить между двумя моторами, а в конфигурации "+" указывать прямо на один из моторов. Рисунок 11 на цв. вклейке иллюстрирует это различие.

Шаг 2.2: калибровка акселерометра

Следующим шагом откалибруем акселерометр. Процедура указывает контроллеру направления вверх, вниз и т. д. Mission Planner попросит вас положить дрон в разных положениях, поэтому приготовьте просторное чистое место с горизонтальной поверхностью и следуйте указаниям. Важно, чтобы поверхность была близка к горизонтальной, насколько это возможно. Используйте пузырьковый уровень, чтобы проверить, не имеет ли поверхность наклона. Мы часто используем маленькую подставку для телевизора, потому что ее можно легко выровнять в случае небольшого отклонения.

Выберите команду **Accel Calibration** (Калибровка акселерометра) в левом столбце меню (рис. 9.8). Это действие приведет к появлению в главном окне приложения кнопки **Calibrate Accel** (Калибровать акселерометр). Нажмите ее и следуйте инструкциям, которые Mission Planner приготовил для вас. Вам будет предложено установить дрон в несколько различных положений, прежде чем нажать любую клавишу для продолжения. По завершении процесса вы увидите сообщение об успешном завершении или

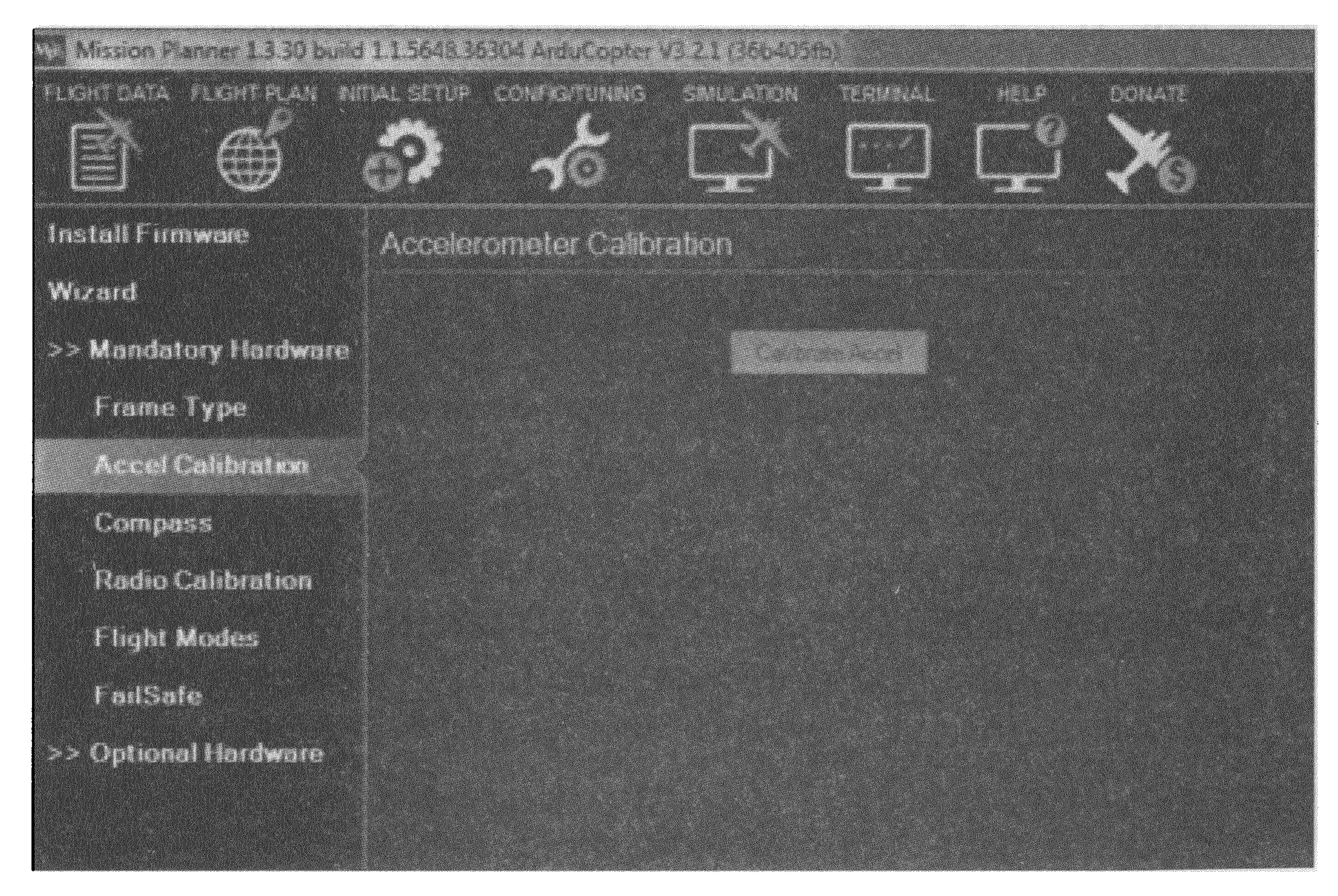


Рис. 9.8. Калибровка акселерометра

сбое калибровки. Перечень запрашиваемых положений рамы выглядит так:

- **Level** (Горизонталь) — обычное положение квадрокоптера, когда он стоит на столе правильной стороной вверх;
- **Upside down** (Вверх ногами) — переверните коптер вверх ногами из его нормального положения;
- **Nose down** (Нос вниз) — нос коптера направлен вертикально вниз, строго на землю, а хвост строго вверх;
- **Nose up** (Нос вверх) — хвост коптера направлен вертикально вниз, строго на землю, а нос строго вверх;
- **Left** (Влево) — левая сторона направлена вертикально вниз, строго на землю, а правая строго вверх;
- **Right** (Вправо) — правая сторона направлена вертикально вниз, строго на землю, а левая строго вверх.

Шаг 2.3: настройка компаса

Выберите команду **Compass** в левом столбце меню. После этого откроется панель настройки компаса в главном окне приложения (рис. 9.9). Настройка компаса — очень важный процесс, состоящий из трех основных шагов.

- **Включение режима автосклонения.** Установите флажки **Enable** и **Auto Dec** в левой верхней части главного окна. Это позволит контроллеру использовать GPS, чтобы определить, в какой части мира вы находитесь, и точнее настроить компас для этого расположения, учитывая разницу между направлениями на истинный северный полюс и магнитный полюс.
- **Выбор типа компаса и ориентации.** Внутри группы селекторов **Orientation** в главном окне приложения выберите опцию **APM with external Compass**. В результате текст в нижней части группы изменится на ROTATION_ROLL_180. Эта информация говорит контроллеру, как ориентирован компас и от какого направления начинать измерение.
- **Калибровка.** Теперь, когда мы установили направление компаса, мы можем откалибровать его (рис. 9.10). Нажмите кнопку **Live Calibration** в нижней части главного окна и следуйте

Рис. 9.9. Настройка компаса

Рис. 9.10. Калибровка компаса

инструкциям Mission Planner. Процедура может занять несколько минут, потому что приложение просит вращать квадрокоптер по всем возможным осям, образуя виртуальную сферу. Исполняйте указания до тех пор, пока Mission Planner не сообщит, что калибровка пройдена. Если в силу неких неведомых причин калибровка сорвется, не огорчайтесь. Просто запустите ее еще раз и старательно вращайте коптер вокруг всех осей.

Шаг 2.4: калибровка каналов радиоуправления

Выберите команду **Radio Calibration** в левом столбце меню (рис. 9.11). В главном окне приложения откроется панель калибровки. Основная идея здесь состоит в том, что Mission Planner отслеживает сигналы радиоуправления и определяет граничные значения (limits, лимиты) для каждого канала. В процессе калибровки вас попросят переместить рукоятки, переключатели и движки в их минимальное и максимальное положение, чтобы приложение смогло определить диапазон для каждого канала. Зеленая полоса графически отображает состояние каждого канала

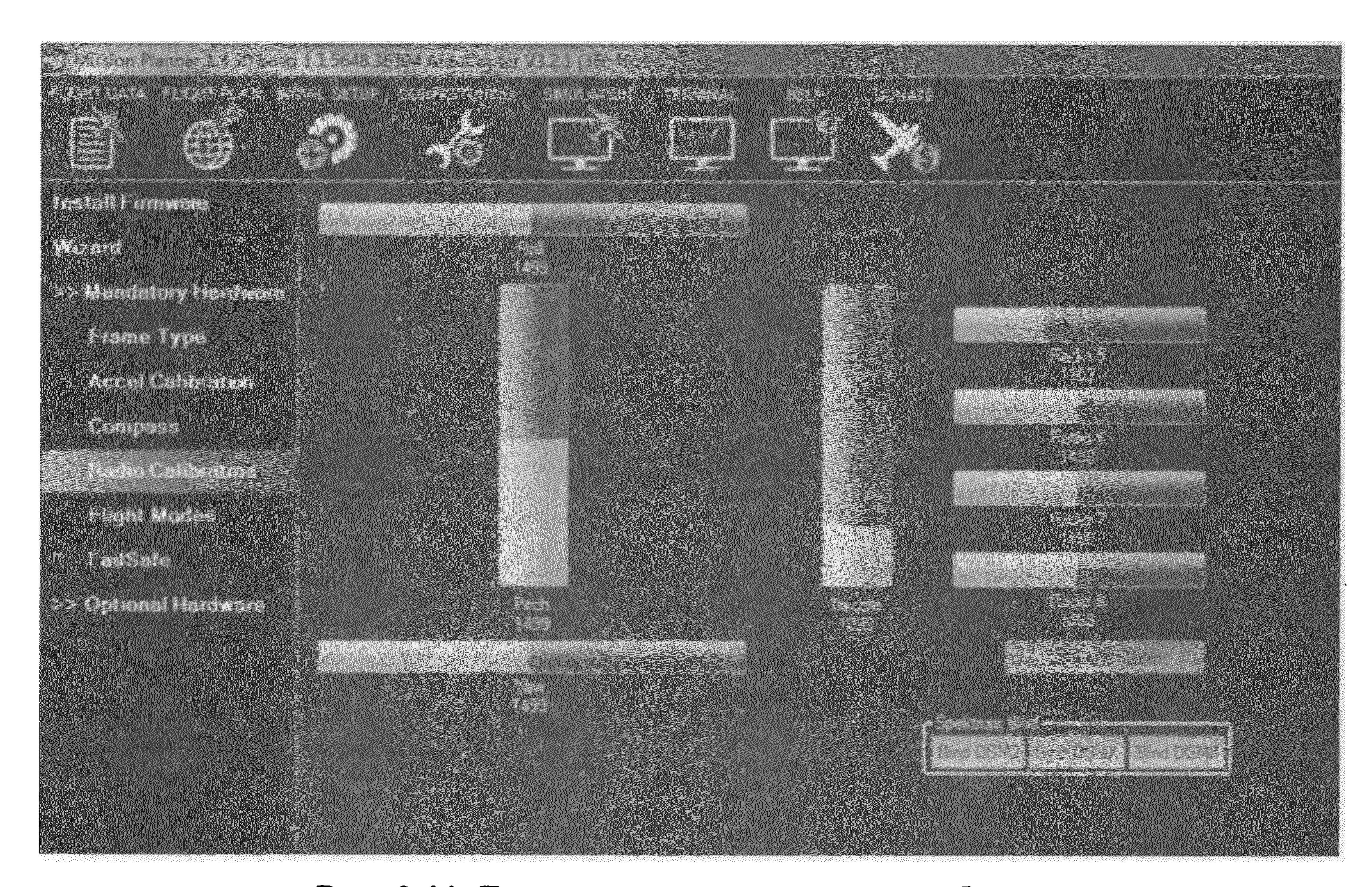


Рис. 9.11. Перед началом процесса калибровки

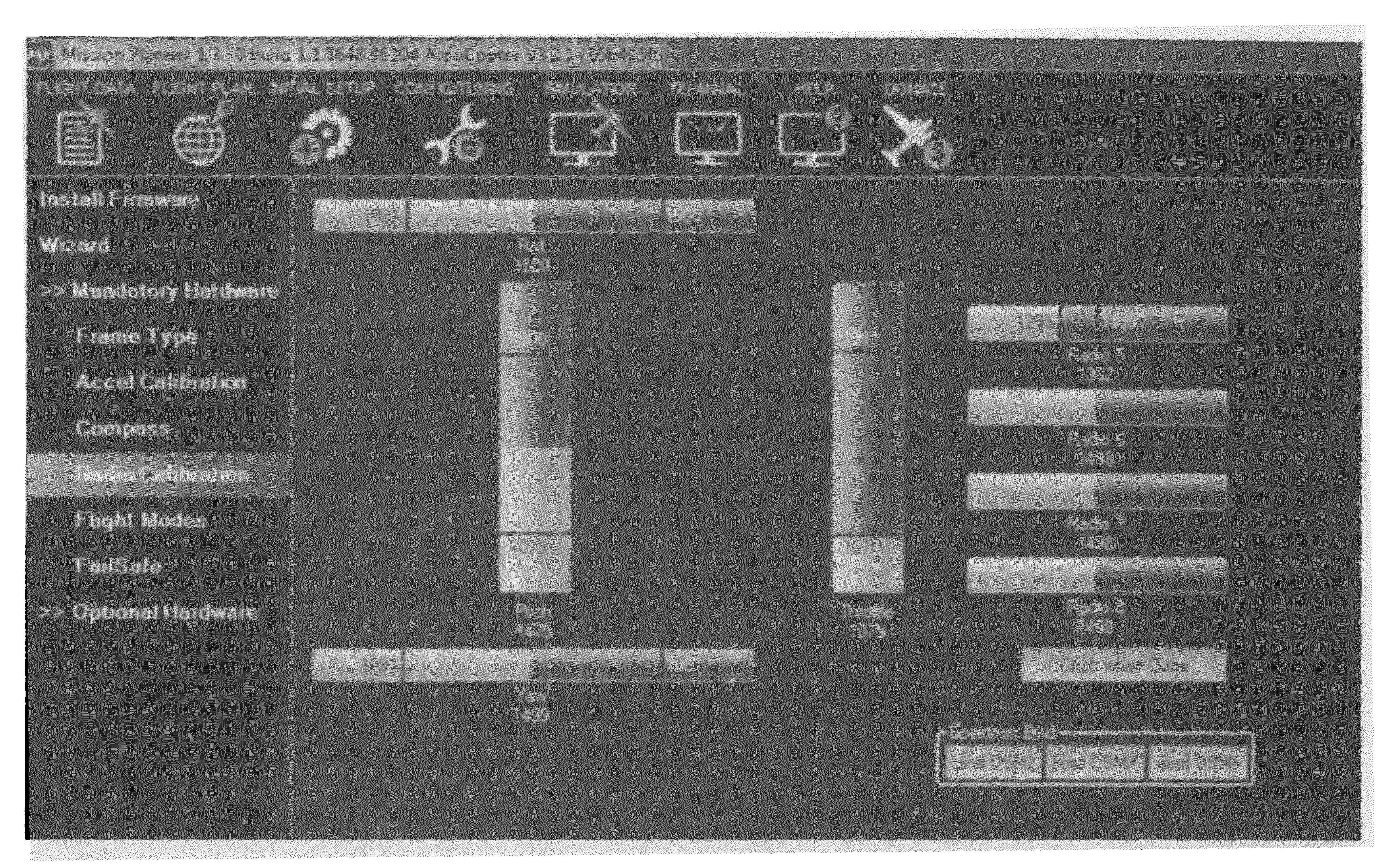


Рис. 9.12. Обратите внимание на красные линии, которые указывают предельные значения для каждого канала

радиоуправления и полосы будут двигаться при перемещении органов управления пульта (рис. 9.12).

1. Если вы еще не сделали этого, включите передатчик.
2. Нажмите зеленую кнопку **Calibrate Radio** в главном окне приложения.
3. В соответствии с указаниями перемещайте органы управления в максимальное и минимальное положение. Это относится ко всем органам управления пульта, таким, как рукоятки, переключатели, регуляторы и движки (зависит от модели передатчика). Вы увидите, что тонкие красные линии на диаграммах каждого канала соответствуют минимальным и максимальным значениям.
4. Когда закончите, нажмите кнопку **Click when Done** (она расположена там же, где кнопка калибровки, просто изменилась надпись).

После завершения калибровки в небольшом всплывающем окне будут отображены минимальные/максимальные значения для каждого канала управления (рис. 9.13). Нажмите кнопку **OK**, чтобы закрыть это окно и перейти к следующему шагу.

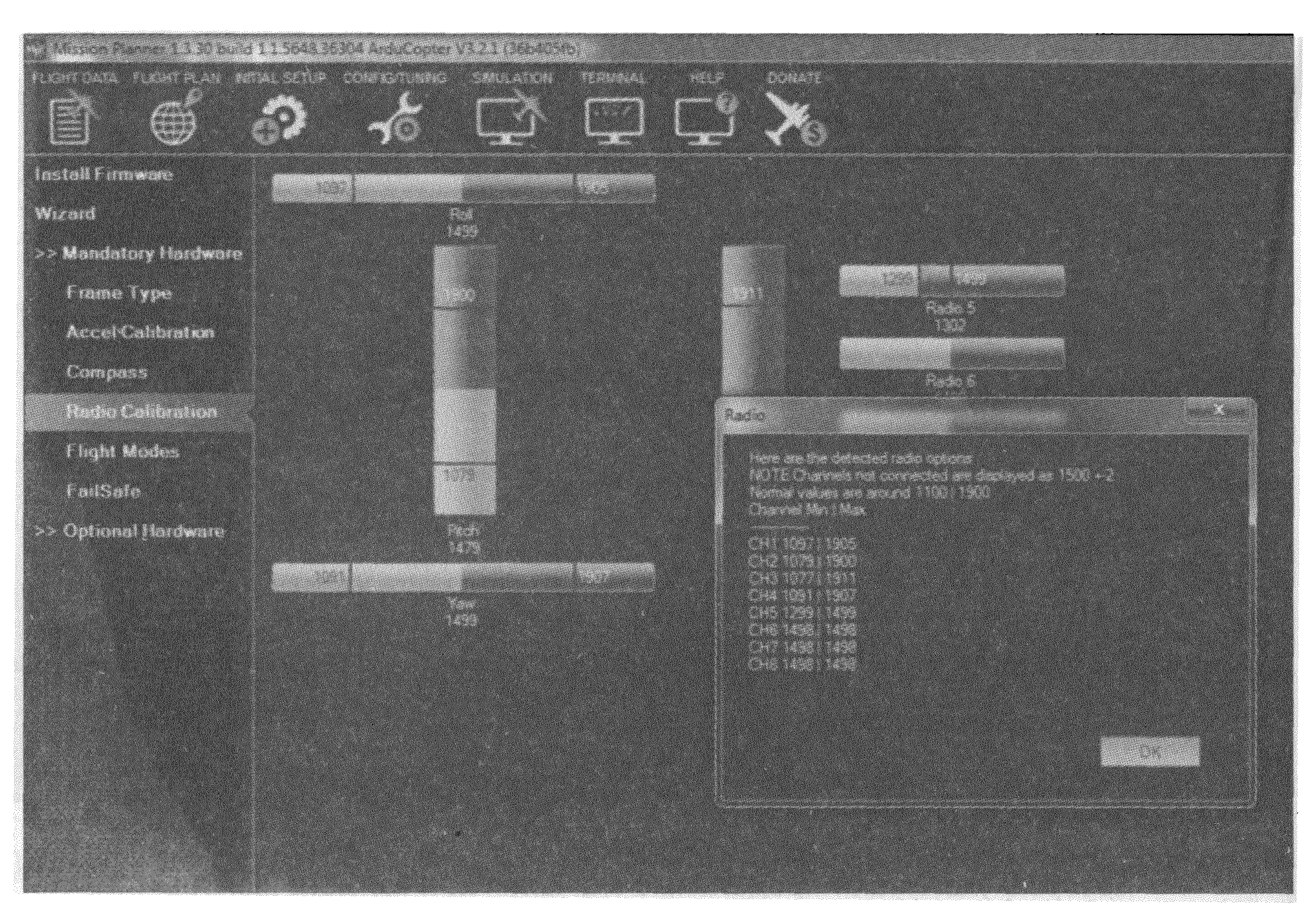


Рис. 9.13. Поздравляем, радиоуправление откалибровано

Шаг 2.5: настройка режимов полета

Теперь наше радиоуправление откалибровано и можно назначить соответствие полетных режимов переключателю на передатчике. Выберите команду **Flight Modes** в левом столбце меню. В главном окне приложения откроется панель настройки режима полета. Мы воспользуемся ею, чтобы настроить режимы **Loiter** (Висение) и **Stabilize** (Выравнивание). Если ваш передатчик оснащен трехпозиционным переключателем (у некоторых есть только двухпозиционные), то вы можете выбрать один дополнительный режим, такой, как **Auto** (Полет по точкам) или **RTH** (Возврат домой).

Включив передатчик, перемещайте переключатель режима полета в разные положения, глядя на экран приложения Mission Planner. Вы увидите, что каждому положению движка переключателя соответствует подсвеченное зеленым цветом наименование полетного режима в приложении. Запомните, какой режим подсвечен в каждом положении переключателя.

Используйте ниспадающее меню для каждого режима, чтобы назначить желаемый режим каждому положению переключателя. Например, если в положении 1 переключателя подсвечивается строка 2 в меню приложения, вы можете назначить режим **Loiter** этому положению простым выбором в ниспадающем меню (рис. 9.14). Теперь переведите переключатель в положение 2 и назначьте режим **Stabilize** в меню этого режима (рис. 9.15 и 9.16).

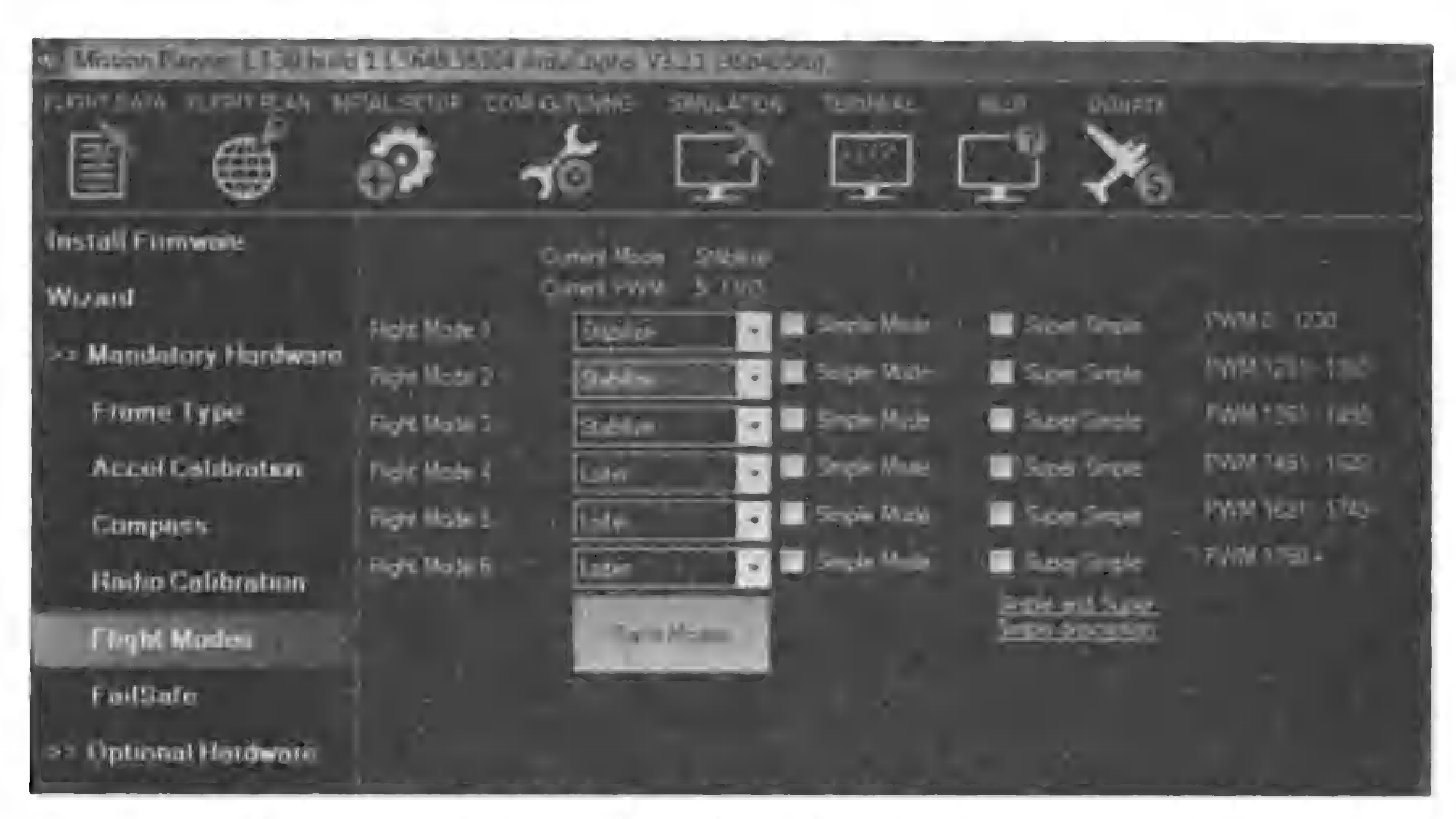


Рис. 9.14. В положении 1 переключателя подсвечивается строка 2 меню

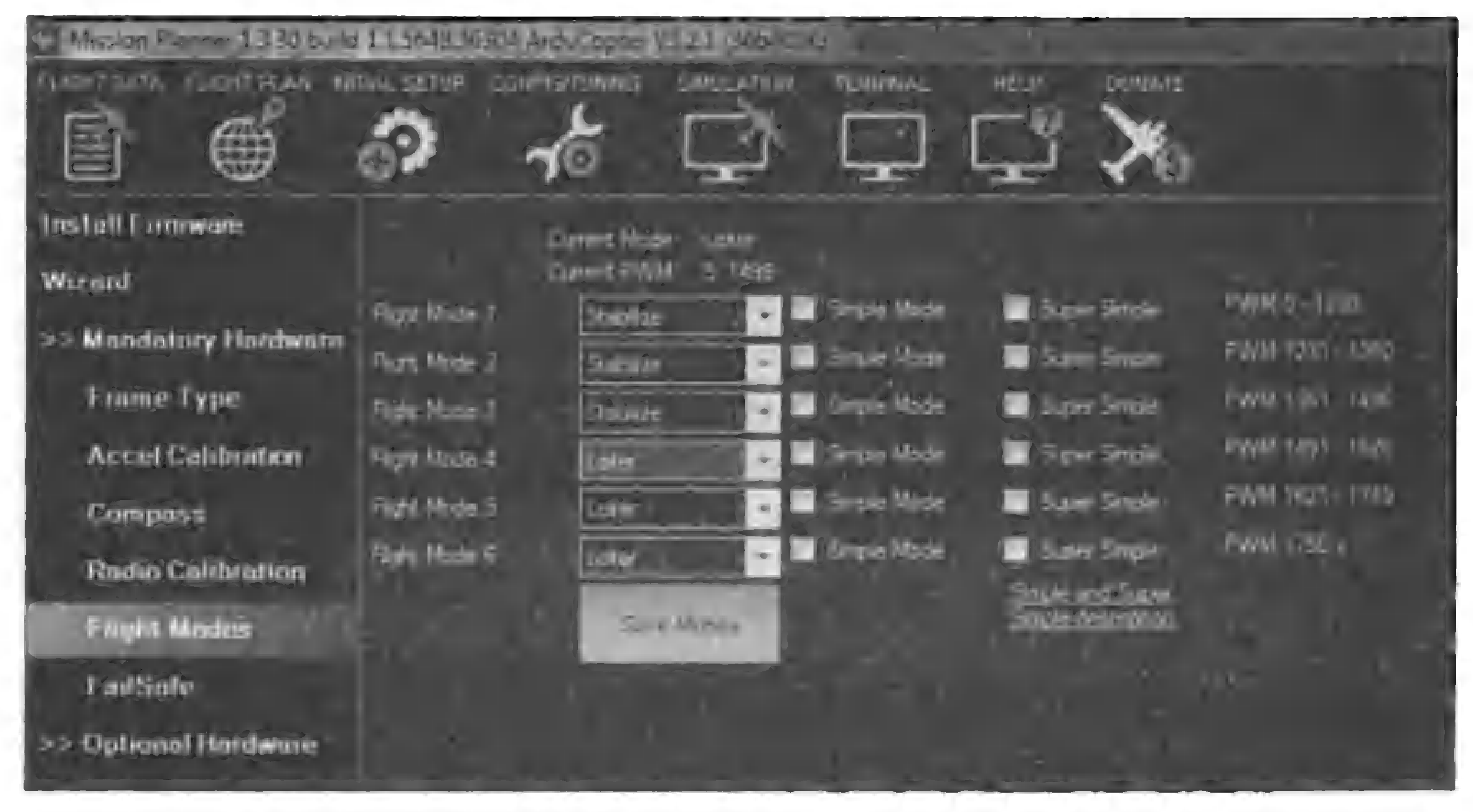


Рис. 9.15. В положении 2 переключателя подсвечивается строка 4 меню

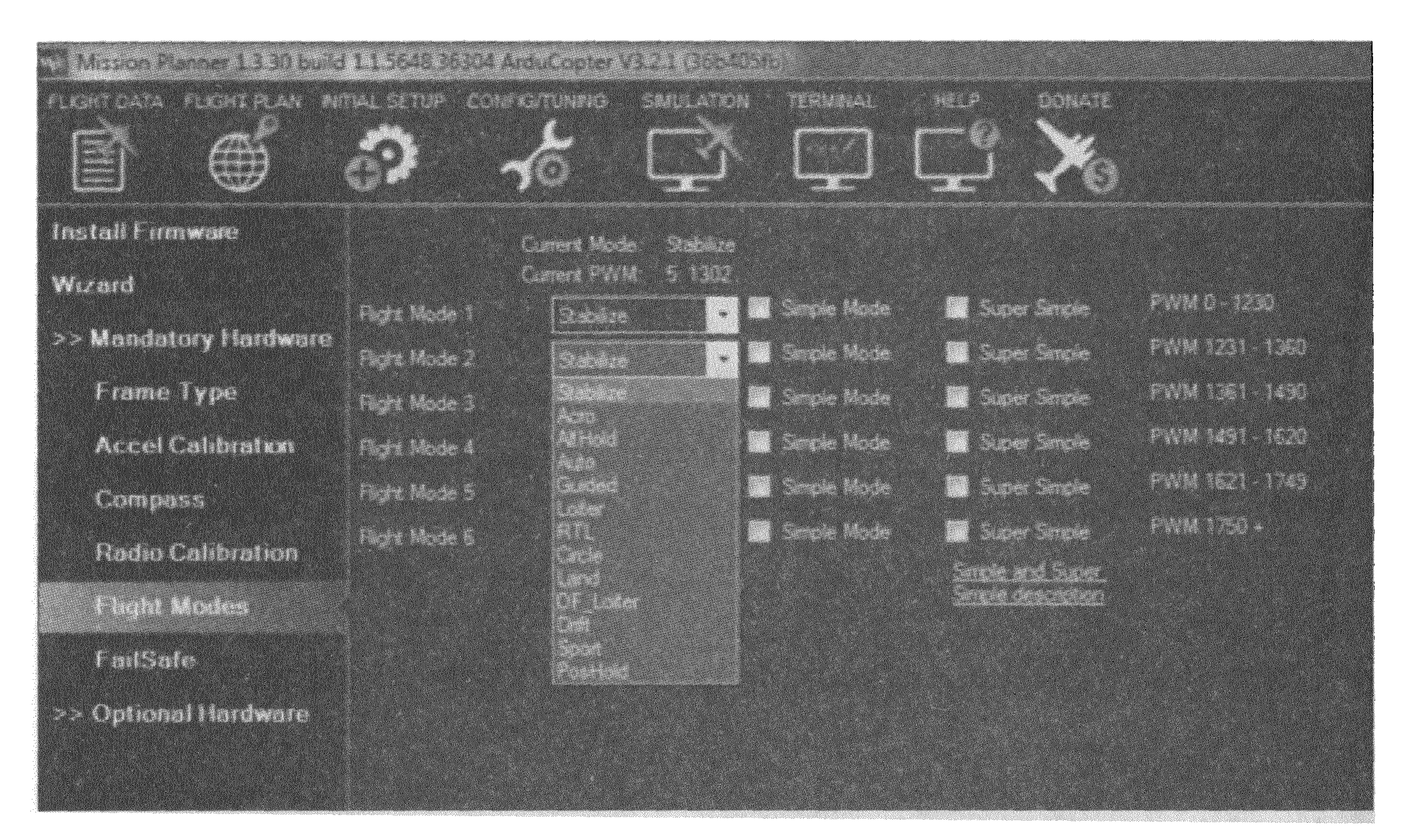


Рис. 9.16. Назначаем режим **Stabilize** в ниспадающем меню для текущего положения переключателя

Шаг 2.6: настройка системы отказоустойчивости

В основном мы закончили обязательные настройки. Последним пунктом в нашем списке идет настройка системы отказоустойчивости (failsafe). Она позволяет указать, какое действие выполнять в случае определенных аварийных ситуаций, таких, как потеря радиосигнала или разряд батареи ниже определенного уровня во время полета. Выберите команду **FailSafe** в левом столбце меню.

1. Найдите группу **Battery** в правой части главного окна приложения. Установите значение опций **Low Battery** = 10,4 и **Reserved MAH** = 0. Это позволит отслеживать только напряжение батареи, но не оставшуюся емкость. Вы можете использовать опцию **Reserved MAH** только в том случае, если у вас всегда в наличии одинаковые батареи и вы точно знаете, сколько "оставить топлива в баке", пока не сработает система защиты от отказов.

2. Теперь надо настроить действие, выполняемое по событию **Battery FailSafe** (Защита от отказа батареи). Мы сделаем это, выбрав один из пунктов ниспадающего меню в группе **Battery** (рис. 9.17).

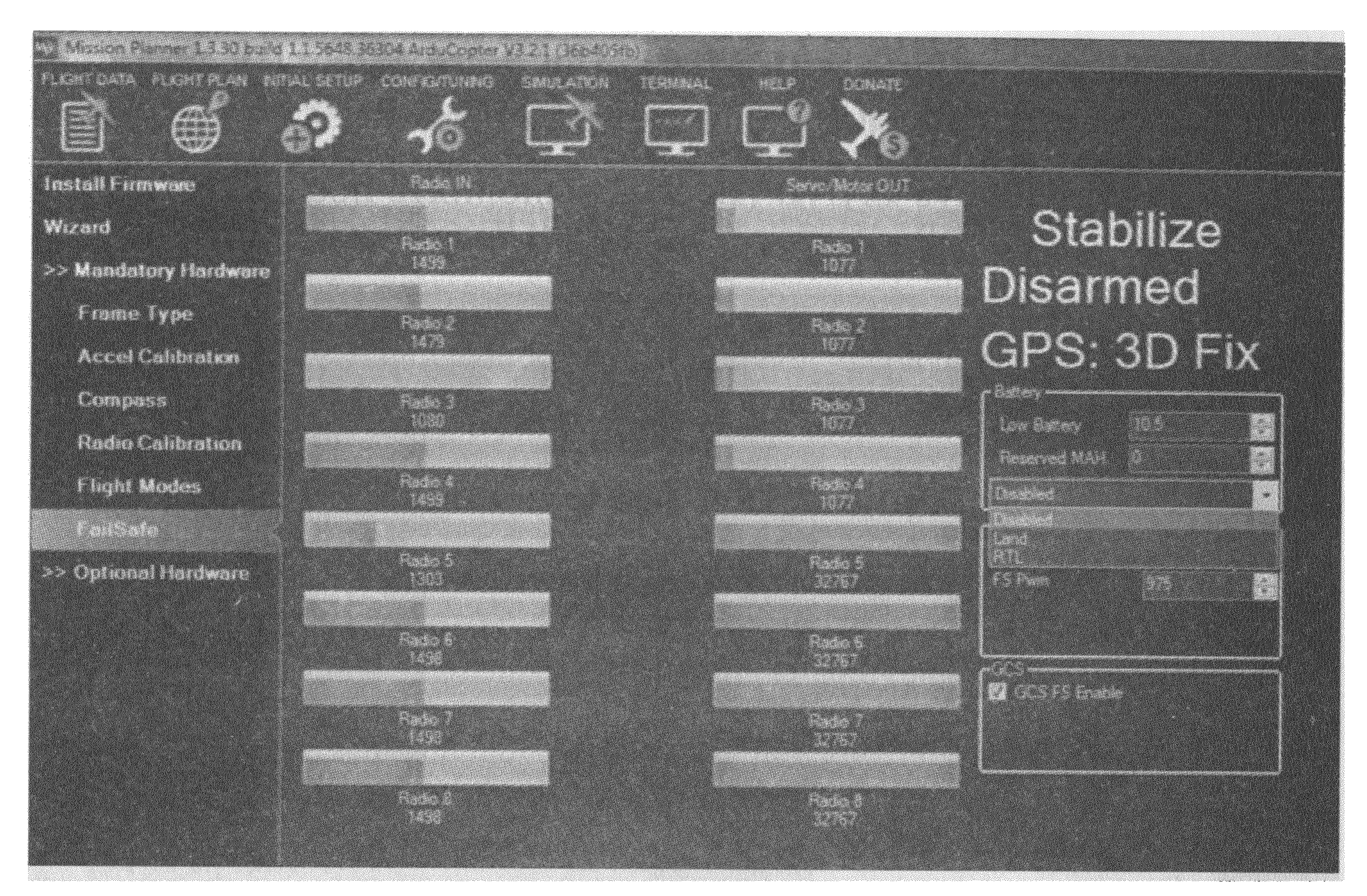


Рис. 9.17. Опции настроек защиты от отказа батареи

Доступны следующие опции:

- **Disabled** (Отключено);
- **Land** (Посадка);
- **RTH** (Возврат домой).

3. В группе **Radio**, расположенной ниже, выберите желаемое действие из ниспадающего списка (рис. 9.18). Это выбор укажет бортовому контроллеру, что делать, если радиосигнал пропадет на некоторое время (по данным APM). Теперь введите в текстовое поле значение 975. Это укажет контроллеру минимально допустимый уровень радиосигнала[1], ниже которого следует включить режим **RTH**. Для настройки режима **Radio** в команде **FailSafe** доступны следующие опции:

- **Disabled** (Отключено);
- **Enabled always RTH** (Всегда включен возврат домой);

---

[1] Если ваш приемник не оснащен датчиком уровня принимаемого сигнала (RSSI), то эта часть настроек не имеет смысла. Просто введите в это поле нулевое значение. — *Прим. пер.*

- **Enabled Continue with Mission in Auto Mode** (Всегда продолжать автоматический полет по точкам);
- **Enabled always LAND** (Всегда выполнять посадку).

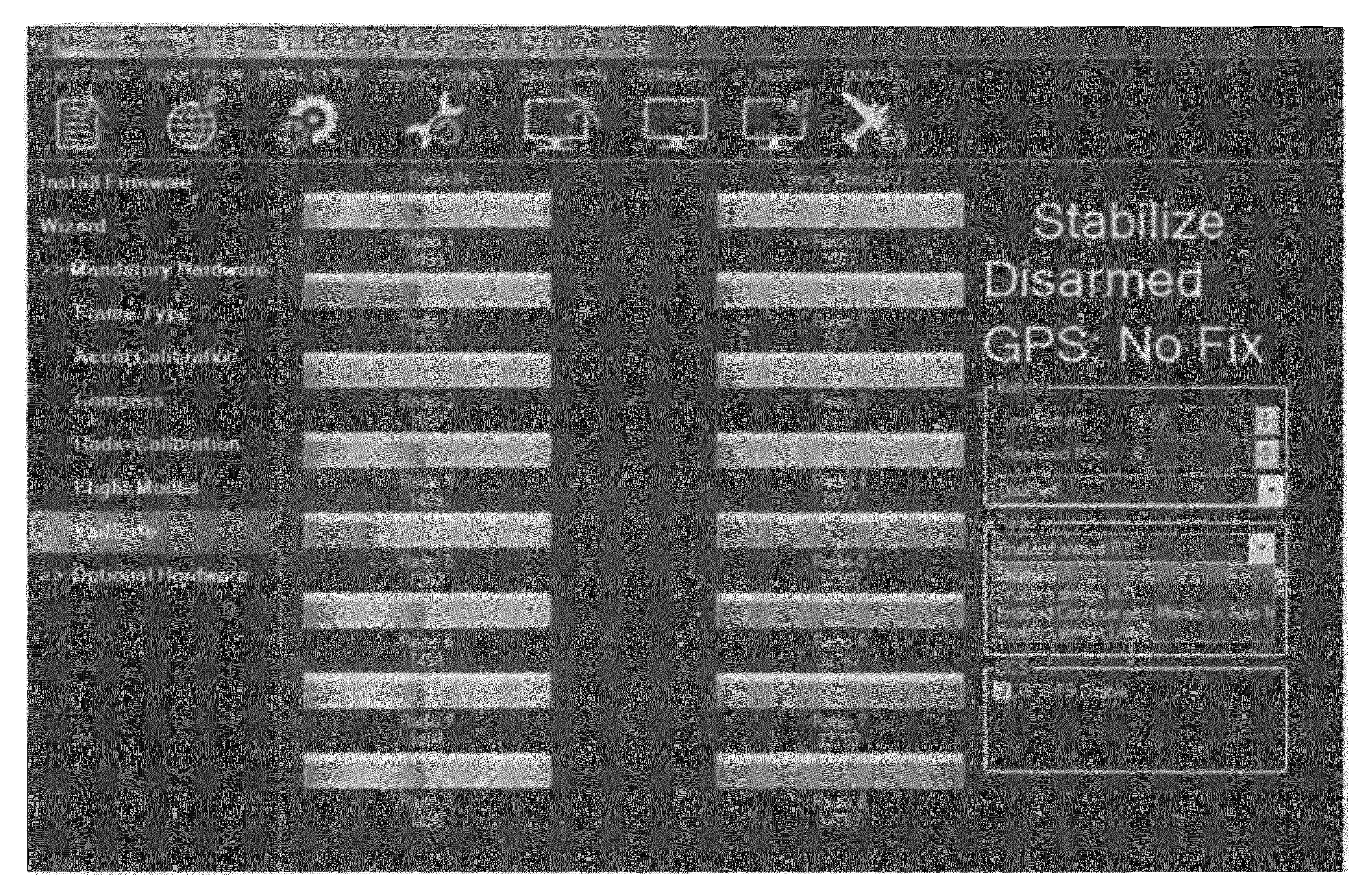


Рис. 9.18. Опции настроек Radio

Шаг 3: дополнительное оборудование

Вы завершили обязательные настройки! Настало время перейти к дополнительному оборудованию. Бортовой контроллер APM позволяет подключить разнообразное дополнительное снаряжение. Это несомненное достоинство системы, которое привлекает множество самодельщиков и умельцев. Наиболее распространенными дополнениями являются радиотелеметрия и монитор батареи, но можно привести длинный список опций, включающий сонары, измерители скорости, оптические датчики перемещения, системы OSD (On-Screen Display, наложение данных на изображение), подвесы камеры, антенные трекеры и модули Bluetooth. Описание большинства этих устройств выпадает за рамки материала данной книги. На самом деле, про эти опциональные уст-

ройства следует написать отдельную книгу! На данном этапе мы рассмотрим два наиболее популярных дополнения: радиотелеметрию и монитор батареи. Если вы не собираетесь использовать эти компоненты, просто полностью пропустите шаг 3.

Шаг 3.1: радиотелеметрия 3DR

В *главе 7* мы подключили модуль телеметрии к APM. Эти устройства поступают с фабрики уже объединенные в рабочие пáры. Это означает, что у двух модулей (бортового и наземного) совпадают частотные каналы и идентификаторы Net ID. Теоретически, вы не должны ничего делать, кроме подключения проводов и нажатия кнопки включения. Тем не менее полезно знать, где находятся настройки и как их можно изменить в случае надобности (рис. 9.19). Хорошо бы также установить собственный Net ID, если вы проводите полеты с друзьями и хотите избежать взаимных помех.

Проделайте следующие действия, чтобы убедиться, что ваши радиомодули соединяются друг с другом, как ожидается:

1. Убедитесь, что контроллер не подключен к приложению Mission Planner через USB. Если он все-таки подключен, разорвите соединение и отключите кабель.

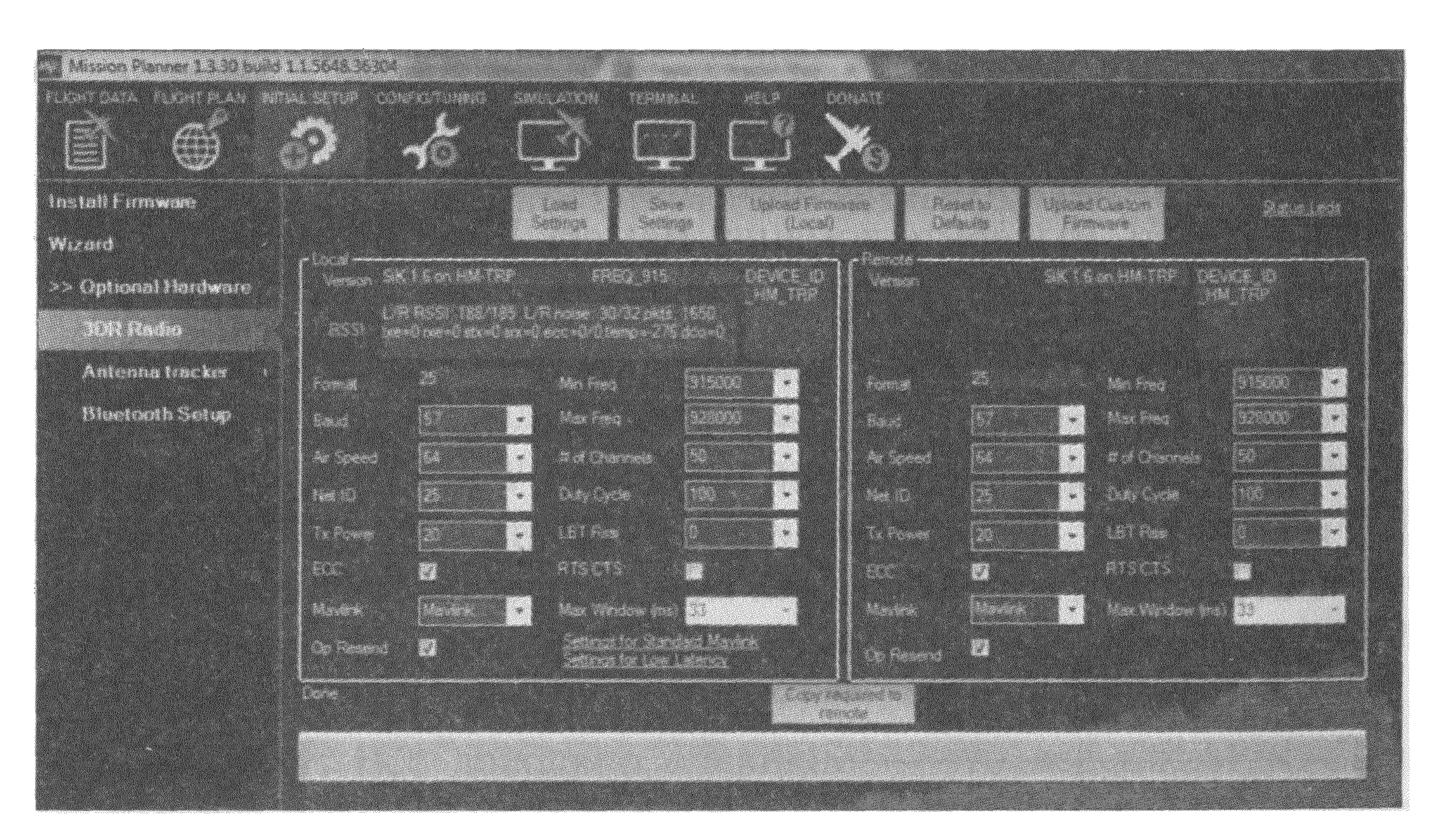


Рис. 9.19. Настройки канала телеметрии считаны из модулей

2. Включите передатчик и подайте питание на дрон с установленным модулем телеметрии.
3. Подключите наземный модуль телеметрии к своему ноутбуку и откройте Mission Planner.
4. Выберите нужный COM-порт и задайте скорость обмена 57 600, затем нажмите кнопку **Connect**.

Если вы хотите изменить свой идентификатор Net ID, чтобы летать вместе с другими без риска взаимных помех, просто используйте ниспадающее меню, чтобы выбрать новый канал. Убедитесь, что у наземного (Local) и бортового (Remote) модулей заданы одинаковые номера ID, затем нажмите кнопку **Save Settings** в верхней части главного окна приложения[1].

Шаг 3.2: монитор батареи

Еще один компонент оборудования, который многие любят использовать, — монитор батареи. Это очень простое устройство, которое может давать весьма ценную информацию и потенциально способно спасти ваш квадрокоптер в случае разряда батареи. Как мы упоминали в *главе 5*, монитор батареи включается в разрыв линии питания между распределителем и силовой батареей. Он содержит небольшую микросхему, которая передает данные в APM для анализа потребляемого тока и оставшейся емкости батареи. Данная страница приложения Mission Planner позволяет установить несколько настроечных параметров монитора батареи. Выберите команду **Battery Monitor** в левом столбце меню. Вы можете управлять значением трех опций.

- **Monitor.** Указывает, за каким параметром должен следить монитор. Доступны значения **Disabled** (Отключено), **Battery Volts** (Напряжение батареи) и **Voltage and Current** (Напряжение и ток). Мы рекомендуем выбрать опцию **Voltage and Current** при использовании монитора батареи (рис. 9.20). Она предоставляет больше информации, а это всегда лучше.

---

[1] В бортовой модуль новые настройки будут загружены автоматически, по радиоканалу. — *Прим пер.*



Рис. 9.20. Страница настроек монитора батареи

- **Sensor.** Этот раскрывающийся список позволяет выбрать тип датчика, применяемого в мониторе. Если вы приобрели набор от Maker Shed, следует выбрать опцию **3DR Power Module**. Если же вы купили ваш монитор где-то еще, проконсультируйтесь с этим магазином, точно определите тип монитора и выберите его из списка. Если вы ничего не знаете и нет возможности получить сведения о мониторе, выберите опцию **Other** (Другой), обычно она работает.
- **APM Ver.** Всё довольно очевидно — это версия APM. Для нашего примера выберите значение **APM 2.5+ 3DR Power**

Module. Если вы приобрели иную реализацию APM (такую, как Pixhawk или PX4), найдите вашу модель в списке и выберите ее.

Прочие возможности Mission Planner

Отлично — вы завершили настройку нового квадрокоптера с APM на борту! Теперь давайте потратим несколько минут на обзор оставшейся части Mission Planner. Мы начали с использования вкладки **Initial Setup**. Сейчас мы рассмотрим возможности, доступные в нескольких прочих вкладках. Отдельные из них соответствуют возможностям, о которых мы уже говорили раньше, но большинство будут новыми.

Режимы полета

Экран, показанный на рис. 9.21, идентичен экрану **Flight Modes** (Режимы полета), который мы упоминали ранее в этой главе. Вы можете использовать эту панель настроек, чтобы назначить различные режимы полета определенным положениям переключателей вашего передатчика.

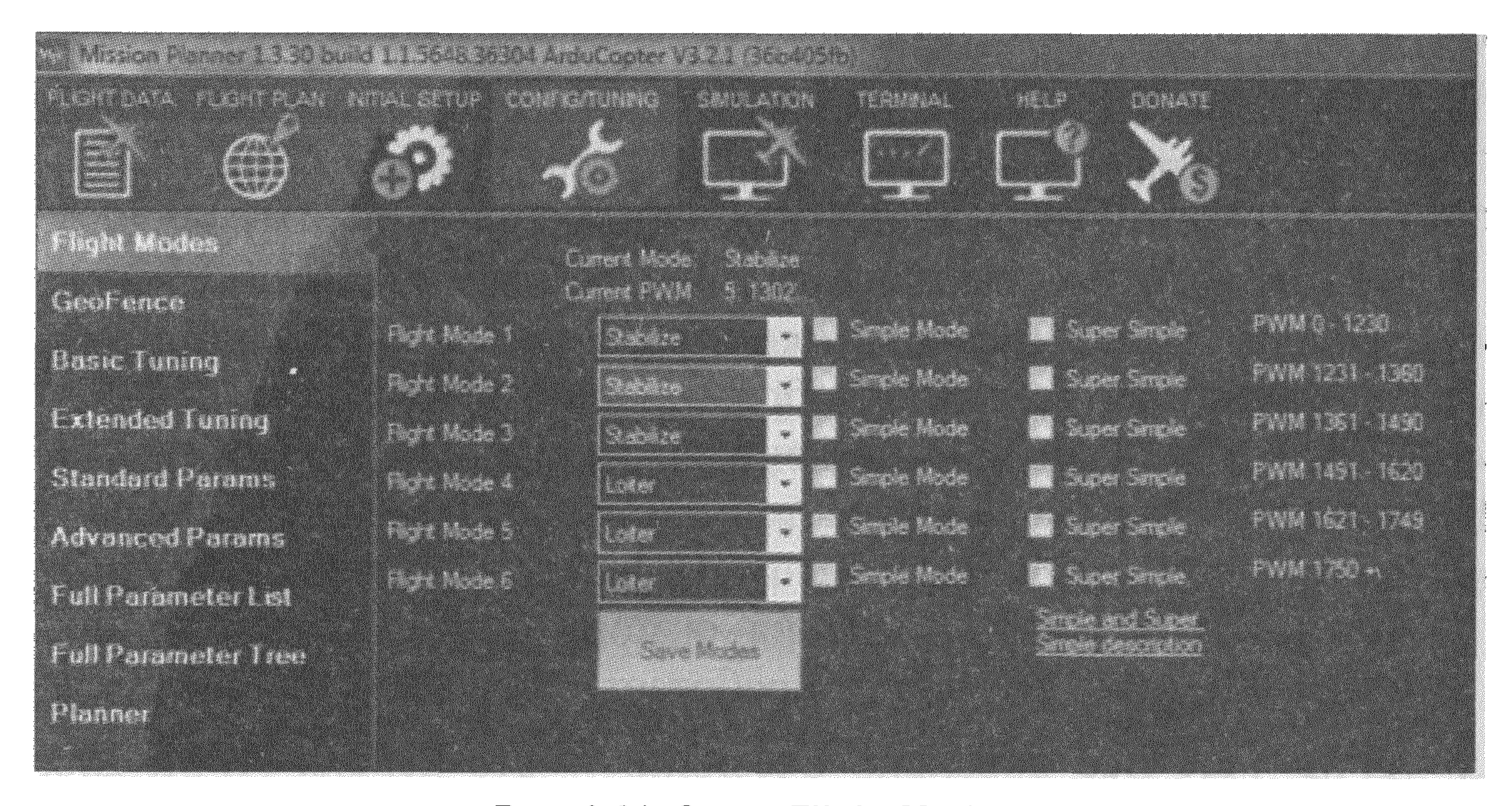


Рис. 9.21. Экран **Flight Modes**

Геозона

Geo Fence (Геозона) — это замечательная функция безопасности для новичков. Она полностью оправдывает свое название: устанавливает вокруг точки взлета виртуальный забор (fence), за пределы которого вы не сможете попасть во время полета.

АРМ будет использовать координаты точки взлета для назначения "домашней" позиции, и настройки на данной панели указывают, как далеко вашему коптеру позволено улететь и что случится, если преграда будет нарушена[1]. Если вы хотите использовать эту функцию, установите флажок **Enable** в верхней части главного окна, а затем определите параметры, расположенные ниже (рис. 9.22).

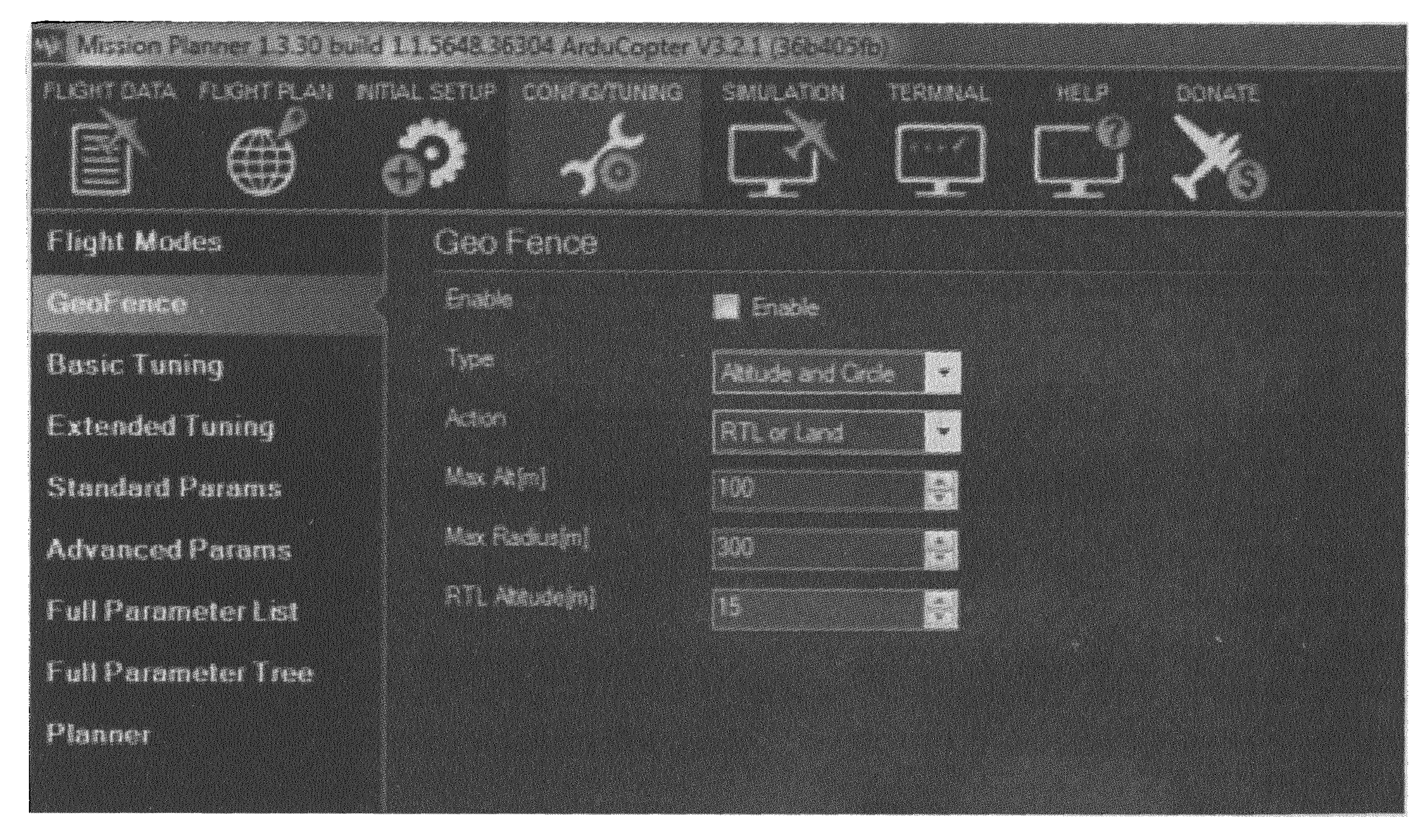


Рис. 9.22. Экран Geo Fence

[1] Командами с пульта можно заставить коптер "пробить" виртуальный забор, после чего контроллер установит новый забор немного дальше. После трех нарушений будет принято решение, что пилот утратил контроль над полетом и произойдет принудительная посадка. — *Прим. пер.*

Базовые настройки

Если вы потратили какое-то время на чтение сетевых материалов о дронах, то наверняка слышали о людях, которые настраивают свой коптер тем или иным способом. Суть в том, что различные дроны имеют разные лётные характеристики и бортовой контроллер — в нашем случае APM — нуждается в соответствующей настройке. Возьмем наш Little Dipper: очевидно, что он обладает совершенно иным набором характеристик, чем октокоптер весом 15 кг с зеркальной фотокамерой на борту. Настройка позволяет вам использовать один и тот же бортовой контроллер на обоих летательных аппаратах, подстраиваясь под работу в любом окружении.

Basic Tuning (Базовая настройка) — это отправная точка при настройке вашего APM (рис. 9.23). Есть одна вещь, которая привле-

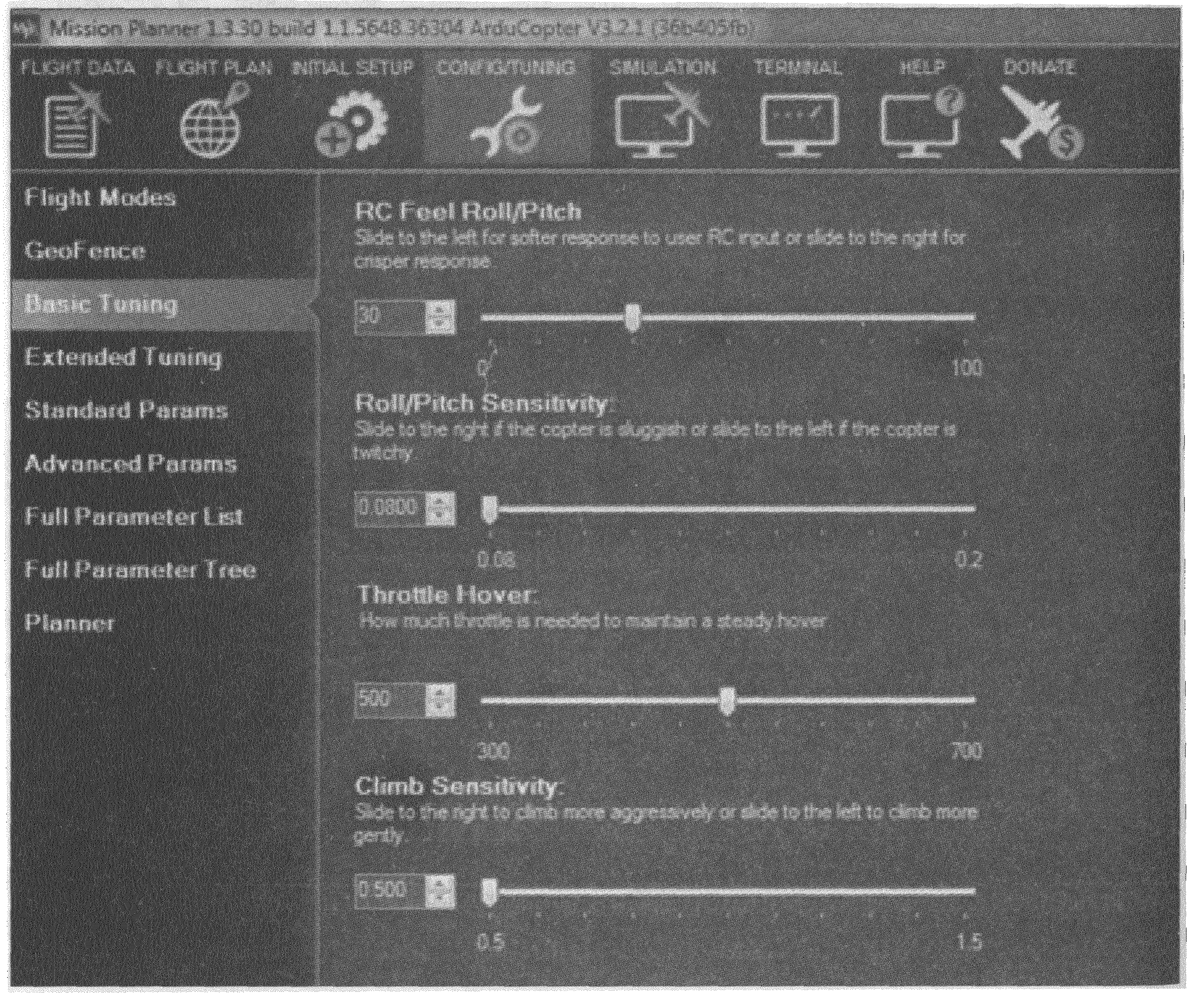


Рис. 9.23. Параметры базовой настройки

кает людей к платформе АРМ. Это бесконечный набор параметров, которые можно подвергать тонкой настройке под свои нужды (большинство из них выходят за рамки данной книги). Панель базовой настройки позволяет менять лишь несколько параметров, влияющих на поведение летательного аппарата. Вы можете настраивать отклик дрона на команды с пульта, насколько чувствителен дрон при автовыравнивании, момент зависания дрона относительно положения рукоятки газа, равно как и то, насколько агрессивно он должен взлетать по команде газа. Каждый параметр снабжен быстрой подсказкой о том, что данный движок настройки делает с летательным аппаратом. Если у вас есть оборудование радиотелеметрии, вы можете запустить Mission Planner во время полета и понемногу менять настройки, наблюдая эффект в реальном времени.

Расширенные настройки

Панель **Extended Tuning** (Расширенная настройка) выводит вас на более высокий уровень настройки летных характеристик (рис. 9.24). Иногда этот комплекс настроек называют сокращением PID (Proportional, Integral, Derivative — пропорциональный,

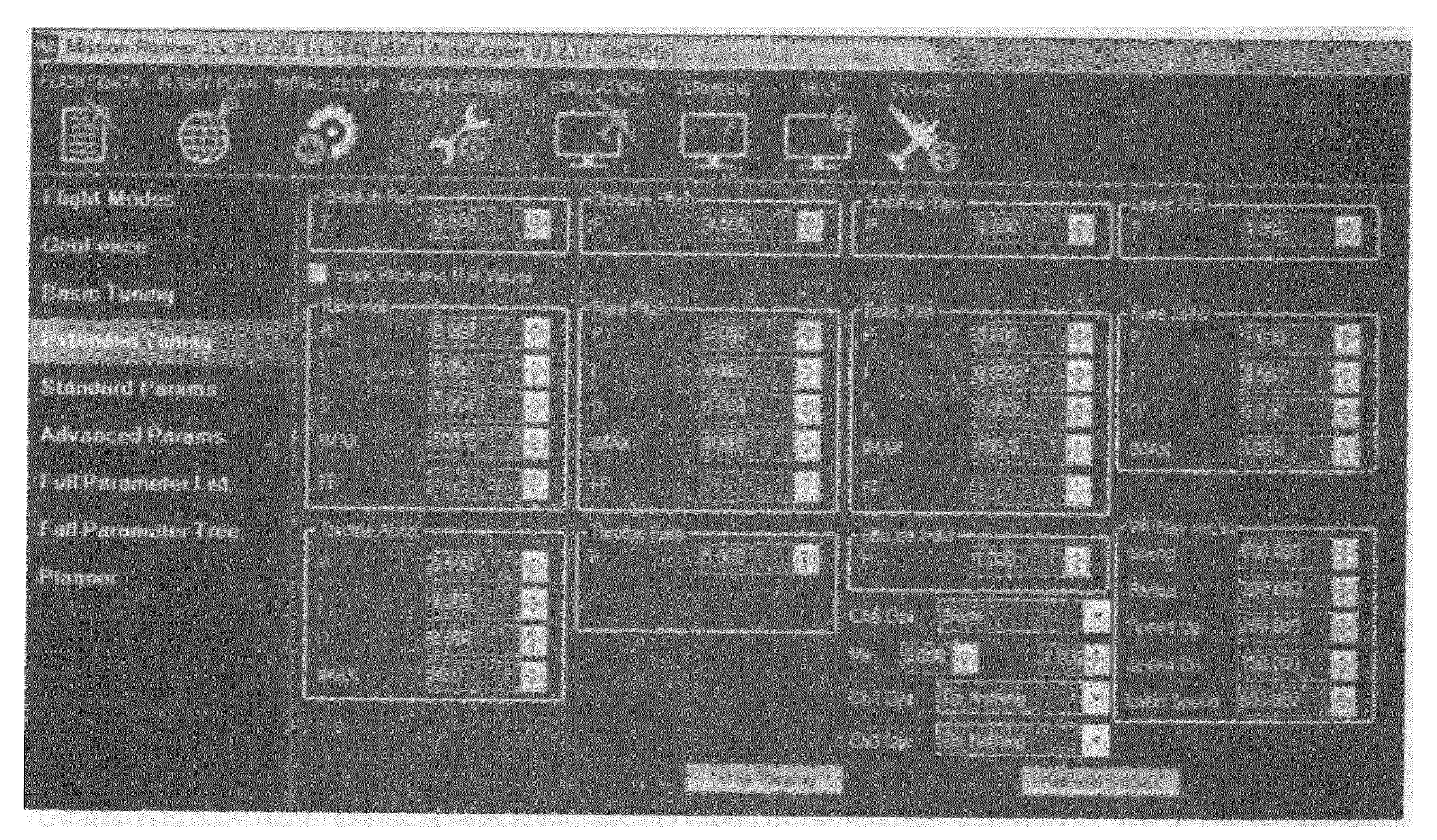


Рис. 9.24. Панель расширенных настроек

интегральный, производный). Это значения констант обратной связи, которые влияют на алгоритм PID полетного контроллера и определяют поведение коптера при перемещении по всем трем осям (Roll, Pitch, Yaw). Данный тип алгоритма контроллеров с обратной связью очень популярен в различных промышленных системах управления. Процесс управления работает путем создания петли обратной связи, вычисления ошибки (отклонения от заданного значения) и выработки управляющего сигнала для устранения этой ошибки.

К счастью, APM имеет стандартные установки, работа которых выглядит достаточно хорошо для большинства стандартных вариантов "из коробки". Если ваш летательный аппарат ведет себя не так, как хотелось бы, и вам кажется, что следует настроить PID для достижения совершенства, мы рекомендуем вам провести самостоятельные изыскания на эту тему. Настройка PID чересчур сложна для быстрого изучения и выходит за рамки этой книги. Имеется функция автонастройки PID для APM, но мы получили с ее помощью неоднозначные результаты. Если все-таки это важно для вас, хорошей идеей будет изучить теорию настройки PID, чтобы понимать, что происходит за кулисами. Если вы заинтересованы продолжать обучение, вот вам хорошая отправная точка на сайте:

http://multicopterwiki.ru/index.php/Теория_настройки_ПИД_/_PID (версия ссылки для российских читателей. — *Прим. пер.*).

Стандартные параметры

Панель **Standard Params** (Стандартные параметры) демонстрирует вам экстремальную гибкость платформы APM (рис. 9.25). На экране вы видите длинный список параметров, которые позволят персонализировать или точно настроить ваш летательный аппарат для специфических задач. Поскольку этот список слишком велик, чтобы обсуждать его здесь, мы приглашаем вас изучить его самостоятельно. Небольшое предупреждение: будьте осторожны с изменениями! Если вы не понимаете, что именно делаете, изучите веб-сайт APM прежде, чем изменить что-то и

попробовать полететь. На сайте можно найти полный перечень параметров по адресу:

http://copter.ardupilot.com/wiki/arducopter-parameters/

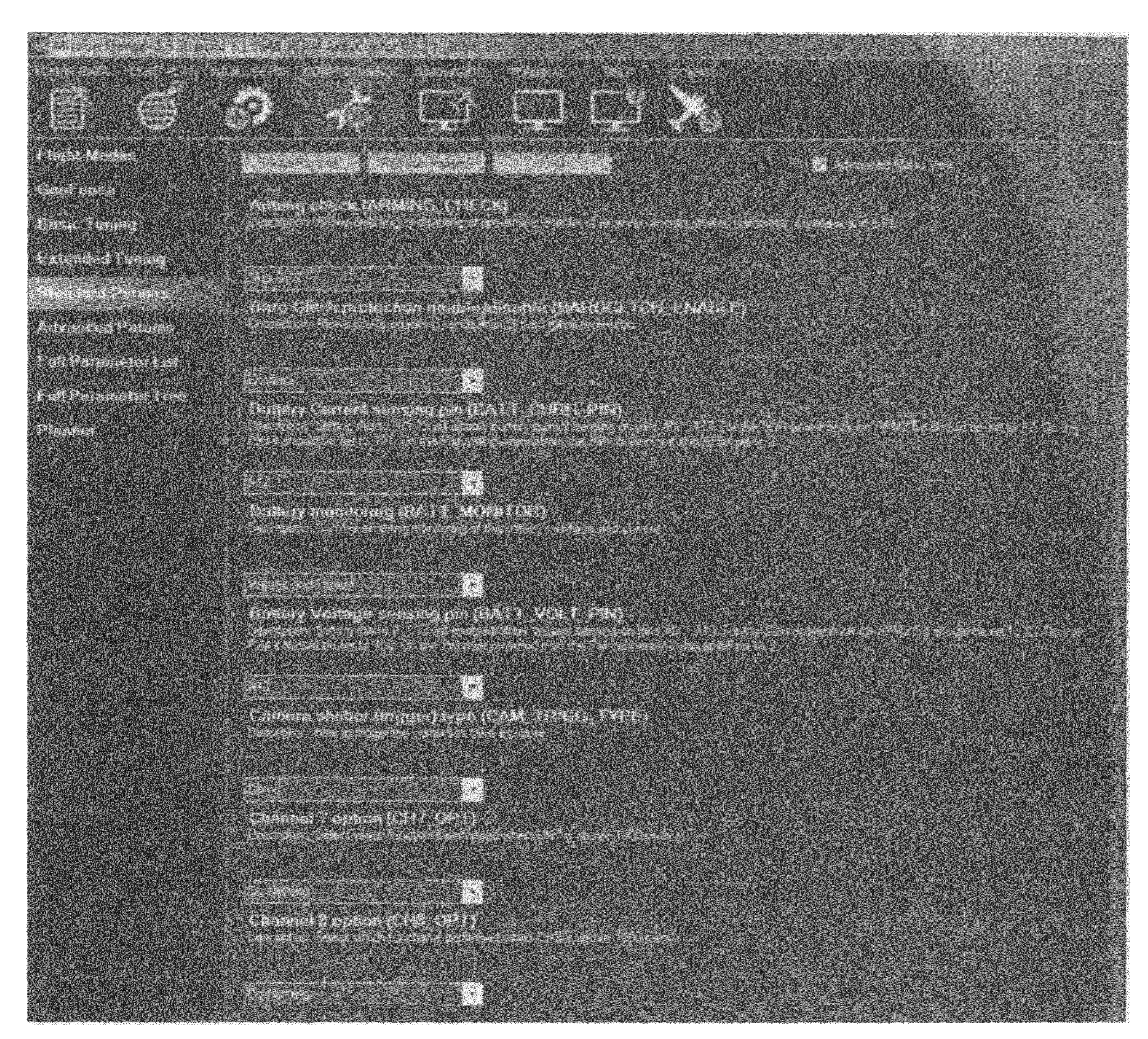


Рис. 9.25. Стандартные параметры

Полетные данные

Чуть ранее мы говорили о том, что данные телеметрии передаются по радиоканалу обратно на наземную станцию. Экран **Flight Data** (рис. 9.26) — это место, где мы можем видеть основную часть упомянутых данных. Нажав кнопку **Flight Data**, вы увидите большую карту в правой части экрана. Она в режиме реального времени будет отображать местоположение вашего квадрокоптера (если есть захват спутников, GPS Fix).



Рис. 9.26. Экран полетных данных

Колонка в левой части экрана будет разбита на две секции, верхнюю и нижнюю. Верхняя часть содержит инструмент, который может показаться знакомым. Это искусственный горизонт (авиагоризонт), очень похожий на тот, который можно видеть в кабине настоящего самолета. Отличие лишь в том, что наш авиагоризонт имеет некоторые дополнительные данные, наложенные на изображение и относящиеся непосредственно к нашему типу летательного аппарата. Этот инструмент будет показывать смещение пространственного положения коптера путем смещения линии искусственного горизонта — разделяющей зеленое и синее поля — равно, как направление полета, режим полета, статус GPS, напряжение батареи и компас.

Пространство ниже искусственного горизонта используется для отображения некоторых данных, возвращаемых с APM на наземную станцию. Эти данные могут быть очень полезны во время полета, потому что позволяют оценивать, насколько быстро летит ваш аппарат, как далеко он от места взлета и какова ваша текущая высота.

План полета

В заключение мы окинем беглым взглядом экран **Flight Plan** (План полета), позволяющий вам планировать автономный полет (рис. 9.27). На первый взгляд, он выглядит очень похоже на экран **Flight Data**, потому что имеет тот же тип карты, но эта карта оснащена изрядным количеством встроенных дополнительных функций.

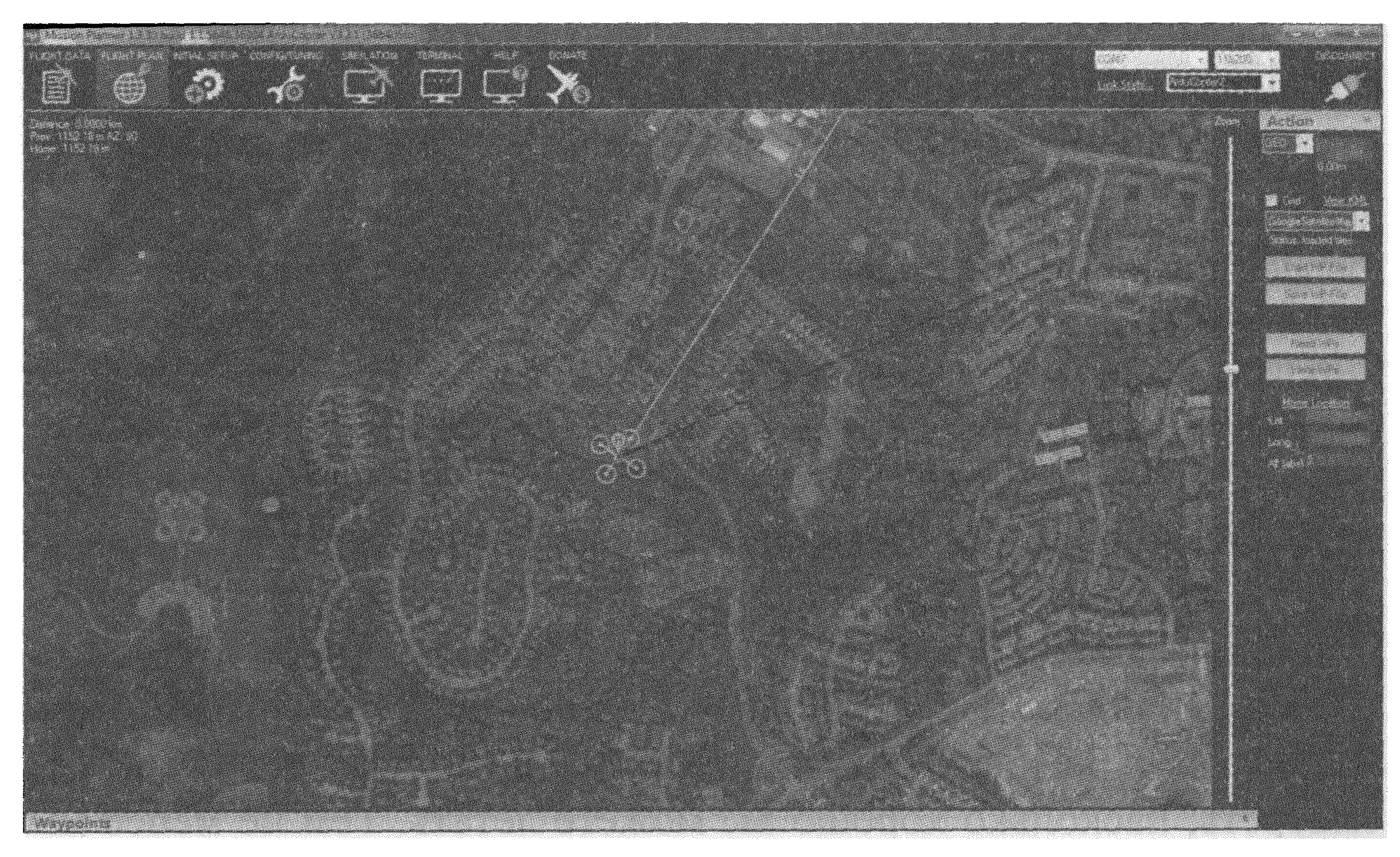


Рис. 9.27. Экран планирования полета

Что угодно, начиная с простой миссии полета к одной заданной точке, может быть спланировано на этом экране. Сложность вашей миссии не имеет значения, все они состоят из точек маршрута, которые направляют летательный аппарат в заданные координаты на заданной высоте. Вы также можете указать летательному аппарату, что он должен сделать по достижении каждой маршрутной точки — например, вы можете выдержать паузу 30 секунд или сразу отправиться к следующей точке — и насколько быстро он должен лететь к следующей точке маршрута.

Очень важно четко понимать основы управляемого полета, прежде чем переходить к любому типу автономного полета. Каждый

пилот должен уметь взять ручное управление на себя и вернуть аппарат домой в случае выхода GPS из строя.

АВТОНОМНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПЛАНШЕТОВ

Несмотря на то, что Mission Planner представляет собой тщательно проработанное приложение, которого более чем достаточно для планирования и выполнения автономных полетов, это далеко не всегда лучшая вещь для использования на летном поле, потому что требует наличия ноутбука. Многие предпочитают использовать небольшие планшеты на Android, чтобы сократить объем снаряжения, необходимого для полетов.

Планшет может быть смонтирован прямо на передатчике, чтобы держать все системы управления в непосредственной близости. Если вам интересно испытать планшет в полевой работе, скачайте приложение от 3DR, именуемое Tower. Это новейшая версия давнего приложения Droid Planner. Если вы хотите узнать больше о наземных станциях для планшетов, посетите наш сайт:

http://gettingstartedwithdrones.com/ground-stations/

Подготовка к первому полету

С технической точки зрения, на этом этапе вы закончили изготовление дрона. Все компоненты установлены, бортовой контроллер настроен, и вы почти готовы протестировать его и посмотреть, насколько хорошо вы можете летать. Тем не менее мы хотим вам предложить, прежде всего, несколько небольших советов. Если вы новичок в радиоуправляемых полетах, мы рекомендуем вам дочитать книгу, чтобы получить хорошее понимание того, как летать безопасным способом. Когда вы сделаете это, можете продолжать в такой последовательности:

1. Уберите пропеллеры и дважды убедитесь, что моторы вращаются в нужном направлении. Как вы помните из предыдущего описания, мы подключали разъемы регуляторов к моторам наобум, не зная, будут ли они вращаться в итоге в нужную сторону. Сейчас пришло время проверить это. Активируйте моторы (по умолчанию переведите левую рукоятку пульта до упора влево вниз на три секунды) и проверьте каждый двигатель по очереди. Если вы обнаружили, что он вращается в об-

ратную сторону, поменяйте местами подключение *любых двух* выводов для смены направления.

2. Не устанавливая пропеллеры, но оставив моторы включенными, проверьте, корректно ли работает функция автовыравнивания бортового контроллера APM. Держите квадрокоптер в руках и плавно наклоняйте раму в сторону. Если APM работает правильно, он должен автоматически увеличивать обороты моторов, которые оказались ближе к земле. Если же вы обнаружили, что это не так, еще раз проверьте правильность подключения регуляторов к выходным портам контроллера.

3. Если все работает, как давно ожидалось, можете установить пропеллеры и попытаться поднять эту птичку в воздух! Плавно увеличивайте обороты моторов и следите за моментом, когда коптер едва начнет отрываться от земли. В это время попробуйте давать небольшие отклонения рукоятками пульта. Убедитесь, что все они работают так, как должны. Например, команда **Roll Left** (Наклон влево) должна действительно заставить коптер смещаться влево. Если все в порядке, осторожно добавляйте газ, пока не окажетесь на высоте 50–60 см. Избегайте находиться слишком близко к земной поверхности, где будет работать эффект "воздушной подушки" (Ground Effect), способный создать проблемы. Эффект возникает, когда поток воздуха, прогоняемый пропеллером, сталкивается с поверхностью земли, создавая зону высокого давления (подушку) и порождая завихрения, воздействующие на летательный аппарат[1].

4. Тренируйтесь без спешки! Это не гонки, и вы не получите приз, если полетите прямо сейчас. Если вы сначала потратите время на то, чтобы уверенно чувствовать квадрокоптер, то достигнете большего успеха в будущем.

---

[1] Эффект подушки выражается в нестабильном висении и склонности скользить вбок (соскальзывать с подушки) на малой высоте. Как показывает опыт, эффект подушки пропадает на высоте, приблизительно равной 4–6 диаметрам пропеллера. — *Прим. пер.*

10/Безопасность полетов

Безопасность прежде всего

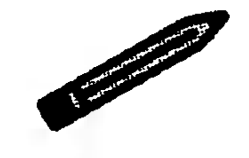
Вот причина, по которой мы очень часто встречаем утверждение "безопасность превыше всего" в повседневной жизни: сделать все зависящее от вас для сохранения благополучия, своего и окружающих людей, важнее, чем сохранить оборудование или выполнить задание. Если строить и эксплуатировать самодельный БПЛА ответственно и безопасно, то это гарантирует, что вы продолжите заниматься увлекательным делом в течение длительного времени.

Те, кто проявляют упорство в строительстве и эксплуатации малых беспилотников, всерьез воспринимают важность соблюдения правил безопасности. Тем самым они уважают и ценят сообщество пользователей БПЛА в целом. Идея этой главы в следующем: занятие летающими роботами — это отличный способ усвоить или укрепить дисциплину. Вы должны заставить себя постоянно думать о том, как добиться нужного результата максимально безопасным способом из всех возможных.

Тренировка и обучение

Существенный вклад в безопасность применения мультикоптеров вносит глубокое изучение возможностей технологии и связанных с ними потенциальных рисков. Новые достижения технологии малых БПЛА в области автономного полета и безопасности появляются постоянно; осведомленность об этих разработках может поддержать безопасность ваших полетов. Тем не менее мы не

рекомендуем полагаться на режимы автоматического управления полетом. Режимы удержания и стабилизации по GPS — это фантастические функции, но стоит любому оборудованию перестать передавать или принимать команды, как ответственный оператор тут же возьмет управление в свои руки. Ничто не заменит ваш собственный уровень знаний, опыта и практическую тренировку "на рукоятках".



Используйте программы-симуляторы для наработки мышечной памяти и навыка инстинктивного управления полетом.

Ресурсы

Ответственно и безопасно заниматься изготовлением БПЛА и полетами — ваша личная задача, но вы не одиноки. Если вам что-либо непонятно в конструкции, сборке или полете вашего устройства, это нормально — обратиться за помощью. Существует множество ресурсов и форумов для разработчиков малых беспилотников, где вы можете получить советы и информацию по наилучшей реализации технологий и безопасности летательных аппаратов.

В конце 2014 года три таких группы тесно сотрудничали с Федеральным авиационным агентством (Federal Aviation Agency, FAA) для согласования общих положений и методических рекомендаций по безопасности полетов малых БПЛА. Это группы, именуемые Association for Unmanned Vehicles International (AUVSI), Academy of Model Aeronautics (AMA) и Small Unmanned Aerial Vehicles Coalition (SUAVC). Ими был составлен краткий список указаний и ограничений при пилотировании малых БПЛА, названный "Правила полетов". Эти правила являются хорошей отправной точкой, но мы рекомендуем вам активно и регулярно заглядывать в правила, поскольку они постоянно совершенствуются. Мы обобщили их в приведенном далее списке и остановились подробнее на некоторых из них, снабдив дополнительными идеями касательно продуманных безопасных полетов.

Важные ссылки

Важные ссылки на группы, входящие в объединение SUAS (США)[1]:

- AUVSI: **http://www.auvsi.org/home**;
- AMA: **http://www.modelaircraft.org/**;
- SUAVC: **http://www.smalluavcoalition.org/**;
- FAA: **http://www.faa.gov/uas/publications/model_aircraft_operators/**.

Обратитесь также к нашему перечню процедур комплексной безопасности:
http://gettingstartedwithdrones.com/docs/UAVSafety.pdf

Ассоциация AMA имеет одностраничное методическое руководство по полетам радиоуправляемых летательных аппаратов:
https://www.modelaircraft.org/files/105.pdf

Ключевые правила безопасности

Безопасный и ответственный полет всегда должен быть приоритетом номер один при подготовке к взлету. Ознакомьтесь с нижеследующими пунктами, и вы всегда сможете комфортно делить небо с теми, кто вас окружает.

- Всегда летайте на высоте менее 400 футов (≈120 метров). Настоящие легкомоторные самолеты летают на высоте более 500 футов (≈150 метров). Это создает 100-футовую буферную зону в воздушном пространстве между управляемыми и неуправляемыми летательными аппаратами.

---

[1] Российским читателям рекомендуем обратиться на сайт Федерации авиамодельного спорта России **http://www.fasr.ru** и на сайт Российского авиамодельного спортивного форума **http://www.ramsf.ru**. На момент подготовки перевода книги в российском авиамодельном сообществе шла интенсивная дискуссия по поводу внесенных в декабре 2015 года поправок в Воздушный кодекс РФ относительно эксплуатации малых беспилотных летательных аппаратов. — *Прим. пер.*

- Запускайте ваш летательный аппарат в пределах прямой видимости. Это означает, что вы всегда должны иметь возможность видеть аппарат, когда управляете им. По нашему опыту, если направление на ваш коптер совпадает с направлением на солнце, это мешает наблюдению. Помните о текущем времени суток и предполагаемом направлении обзора. Разноцветные посадочные стойки или светодиодная подсветка помогут вам различить переднюю и заднюю части мультикоптера, что позволит восстановить ориентацию. Смотрите примечания к этому разделу относительно полетов с FPV оборудованием.
- Вступите в местный клуб авиамоделистов или любителей БПЛА. Если это невозможно в вашей местности, вы можете собрать собственную группу в социальной сети для обсуждения различных вопросов безопасности полетов.
- Никогда не летайте на расстоянии менее 5 миль (≈8 км) от ближайшего аэропорта и 3 миль (≈5 км) от больших стадионов, за час до и после проведения там мероприятий. Никогда не летайте в национальных парках и над военными базами. Обратитесь к интерактивной карте **https://www.mapbox.com/drone/no-fly/**, чтобы найти бесполетные зоны (только для США. — *Прим пер.*).
- Возьмите урок полета. Это поможет укрепить знание принципов полета и даст опыт ориентации в воздушном пространстве с точки зрения пилота. Также вы можете найти местные курсы по обучению пилотированию малыми БПЛА.
- Всегда проверяйте ваше оборудование перед каждым полетом и удостоверьтесь, что каждый компонент работает надлежащим образом.
- Занимайтесь этим только для развлечения! Не выполняйте коммерческие полеты без регистрации в надзорной организации. В любом случае, вы должны иметь годы летного стажа для этого. Оформление страховки вашего летательного аппарата не является обязательным для развлекательных целей, но это хорошая идея. Если вы вступили в летный клуб AMA, то ограниченная страховка уже включена в ваши членские взно-

сы. В случае коммерческого применения страховка является обязательной.

- Никогда не летайте небрежно и бесшабашно. Это не только опасное и неуважительное отношение к окружающим людям и их личным правам, но и может послужить основанием для возбуждения административного дела и оформления штрафа. Летайте безопасно.

Полеты с FPV

Многие энтузиасты мультикоптеров любят летать с оборудованием FPV (first person view, вид от первого лица), используя видеоочки, дающие пилоту ощущение полета в кабине. Небольшая камера, смонтированная в передней части коптера, обеспечивает в реальном времени вид по направлению полета. Полеты по FPV стремительно развиваются благодаря сложным и захватывающим гонкам дронов. Выпуск журнала "Make" за апрель/май 2015 года полностью посвящен великолепным возможностям FPV. Там есть несколько советов.

- Приведите с собой друга, который будет выступать наблюдателем. Вам нужна еще одна пара глаз, чтобы держать коптер в поле зрения и предупредить вас, если что-то может оказаться на пути полета.
- Четко обговорите с другими находящимися поблизости FPV-пилотами, какой видеоканал/частоту вы используете, чтобы избежать помех приема.
- Выйдите на широко открытое уединенное место, подальше от людей, объектов собственности, дорог и линий электропередачи.
- Не приводите с собой на летное поле детей или животных, потому что они могут внезапно оказаться на пути полета.
- Следуйте всем приведенным ранее указаниям по технике безопасности.

Где и когда летать

Планирование — критически важный этап безопасного и успешного полета. Иначе говоря, отсутствие плана — это запланированный провал. Есть много вещей, которым надо уделить внимание перед первым полетом, впрочем, как и перед каждым следующим. Мы используем карту предполетного контроля, чтобы убедиться, что мы выполнили все действия, необходимые для нашей запланированной миссии. Вы можете использовать свое любимое приложение-органайзер, чтобы сгенерировать собственную карту контроля. Многие из них доступны на App Store. Нас вполне устраивает приложение Wunderlist. Оно легко синхронизируется с разными платформами. Кроме того, оно бесплатное, и это прекрасно. В следующем разделе вы найдете специфическую информацию, которую можете захотеть включить в вашу контрольную карту.

Также нам нравится функция 3D в картах App Maps, которую мы используем для планирования наших миссий. Вы можете видеть изображение в перспективе, очень близко к тому, чего вы хотите достичь в процессе полета. Время суток и освещение также могут быть важны для вас, если не хотите оказаться в ситуации, когда солнце светит прямо в глаза во время визуального наблюдения за летательным аппаратом.

Лучший способ определить потенциальные риски — это личное участие. Нам нравится заранее посещать места полетов, чтобы посмотреть, достаточно ли там открытого пространства и представляет ли оно какую-либо опасность. Разработайте план, чтобы снизить возможный риск до уровня, приемлемого всем присутствующим на летном поле. Вероятно, вам придется получить лицензию или как минимум разрешение на полеты в заданной зоне, даже если она выглядит, как пустое поле. Если вы владеете собственным очень большим приусадебным участком, значит, у вас есть идеальное место для спокойных регулярных тренировок (разумеется, на расстоянии не менее пяти морских миль от ближайшего аэродрома). Наконец, национальные парки США признаны (на момент написания книги) бесполетными зонами. Мы надеемся, что это изменится когда-то в будущем. По крайней мере, мы

надеемся увидеть утвержденные процедуры, предназначенные для аэрофотографов, чтобы получить разрешение на доступ в национальные парки в соответствии с правилами Службы национальных парков.

Предполетный контроль и бортовой журнал

По аналогии с настоящим самолетом, ведение карты предполетного контроля и бортового журнала имеет важное значение для сохранения в целости летательного аппарата и окружающей среды.

- Дата и время.
- Выбранные расположение и безопасная зона взлета/посадки.
- Оператор и прочая летная команда, такие как наблюдатели или операторы камеры.
- Надежность проводных и механических соединений.
- Летательный аппарат, частота канала, настройки полетного режима.
- Используемые пропеллеры и батареи. Мы предпочитаем наклеивать этикетки и отмечать каждое использование батареи.
- GPS: количество доступных спутников.
- Погода, направление солнца, направление и скорость ветра. Предельная безопасная скорость ветра зависит от веса и конструкции вашего аппарата. Наш Little Dipper очень легкий при своих двух фунтах веса (≈0,9 кг), поэтому желательно летать при скорости ветра не более 10 миль в час (≈0,5 м/с). Более тяжелые мультикоптеры могут выдерживать сильный ветер. Избегайте воздействия осадков. Вода и электроника плохо сочетаются.
- Назначение/объект, задание, контактное лицо.
- Возможные опасности и план по их устранению.
- Достигнутые высота и скорость.

- Полезная нагрузка (лучше начинать без нагрузки).
- Настройки камеры и доступная емкость карты памяти.
- Продолжительность полета и краткий обзор — происходит ли что-то непредвиденное с оборудованием?



Никогда не летайте над толпой или дорожным движением.

Постарайтесь проводить полет вдали от кого бы то ни было. Правда, избежать всех посторонних иногда бывает сложно. Если во время полета присутствуют зрители, установите безопасную зону взлета и посадки (см. рис. 12 на цв. вклейке). Мы выдерживаем минимум 30 футов (≈10 м) между нашим коптером и любым человеком или предметом. Нам нравится использовать заградительные конусы для очерчивания периметра зоны безопасности. Вы также можете использовать большой матерчатый тент. Он будет защищать чувствительную электронику от грязи. Создание физической линии безопасности путем использования растяжек, шестов, порошковой краски на земле — это хороший способ удержать зрителей на расстоянии. Если с вами присутствует помощник-наблюдатель, пусть он общается со стоящими поблизости людьми, поясняя им, что вы делаете, заставляет их держаться подальше от лётной зоны и всегда будет в курсе, где находится беспилотный летательный аппарат. Запомните, полеты вблизи больших стадионов с людьми на трибунах запрещены правилами FAA в течение часа до и после запланированного мероприятия (разумеется, включая продолжительность самого мероприятия).

Старательно осмотритесь вокруг на предмет обнаружения каких-либо кабелей в районе полета. Линии ЛЭП в воздухе и даже забытые кабели на земле могут быть очень опасны[1]. Раскидистые ветви деревьев, фонарные столбы и архитектурные объекты также могут представлять опасность. Соблюдение дистанции — это

---

[1] Если во время полета с видеоочками на глазах вы запнетесь за что-то и упадете, это может привести к аварии вашего коптера. — *Прим. пер.*

единственный способ избежать риска, связанного с такими объектами.

Проверка летательного аппарата

Делая предположения, можно совершить большую ошибку. Никогда не полагайте, что с вашим мультикоптером все в порядке лишь потому, что он прекрасно летал вчера. Всегда выполняйте систематическую проверку перед каждым полетом. Тестирование, безусловно, является постоянным занятием в этом хобби. Регулярный рутинный осмотр с тщательным обслуживанием и ведением документации — это правило хорошего тона в мире летательных аппаратов.

Проверяйте моторы и настройки без пропеллеров. Далее установите пропеллеры, встаньте позади коптера и проверьте направление вращения. Если вы заметили неполадки или что-то заменили/отремонтировали, тут же запишите это.

Отмечайте действия с батареей *(см. главу 5)*. Ее возраст, как она обслуживалась и хранилась, осталась ли она без изменений, имеет ли остаточный заряд — все может повлиять на Li-Po-батареи. Вам следует знать, как использовать, хранить и утилизировать использованные батареи. Найдите местный пункт приемки использованных батарей. Поймите, что Li-Po-батареи могут быть опасны и требуют вашего пристального внимания. Вы должны иметь огнетушитель под рукой на всякий случай.

Журналы полетов и обслуживания

Большая часть информации из карты предполетной проверки может быть использована для ведения бортового журнала. Важно документировать каждый полет. Это поможет улучшить вашу конструкцию и летные характеристики, находя закономерности в собранных данных. Дополнительная выгода от ведения бортового журнала в том, что если вы в состоянии демонстрировать постоянные усилия со своей стороны, чтобы безопасность была первичным приоритетом, это мотивирует гораздо лучше, чем полеты, качество которых вызывает вопросы.

Кроме бортового журнала мы рекомендуем также вести журнал обслуживания. Это может быть как листок бумаги в зажимном планшете, так и детальный файл, сохраняемый в вашем любимом мобильном устройстве. Записывайте каждый ремонт или усовершенствование, выполненное вами, и когда оно сделано. Отвечайте на вопросы "Что вызвало проблему?" и "Почему понадобился ремонт или замена?" Проведите надлежащее тестирование по окончании работы и запишите обзор результатов. Разумеется, применение качественных компонентов поможет сократить проблемы, а также время на ремонт и документирование. Например, металлические части механизмов в сравнении с пластиковыми действительно более прочны и служат дольше.

Все, о чем мы говорили в *главе 2*, остается в силе: записывайте принятие решений в процессе сборки квадрокоптера, особенно если это ваш первый опыт. Расшифровывайте, какие факторы привели вас к выбору каждого компонента в ходе сборки. Сравните детали или торговые марки, которые вы выбрали, и что побудило вас сделать выбор. Это может показаться излишней тратой времени, но впоследствии вы будете рады иметь на руках хотя бы половину этой информации.

Законы и правила

Во многих странах любители наслаждаются полетами моделей около 100 лет. На протяжении XX века авиамоделисты руководствовались правилами здравого смысла, возникшими в результате стремления свести к нулю инциденты. В последнее время возможности этих летательных аппаратов значительно возросли и привлекли внимание законодателей, особенно в Соединенных Штатах[1]. Мы настоятельно рекомендуем любому, кто выбрал авиамоделирование своим хобби, ознакомиться с соответствующими местными и национальными законами. Эта область развивается настолько быстро, что все написанное нами скорее всего

---

[1] Государственная Дума РФ 22 декабря 2015 года также приняла закон, регламентирующий использование БПЛА и устанавливающий обязательную регистрацию летательных аппаратов тяжелее 250 г. — *Прим. пер.*

устареет еще до того, как книга попадет на вашу полку. Если вы живете в США, то веб-сайты FAA и AMA — это лучшее место для начала.

Законы в различных странах

Перечень сайтов в нескольких странах, которые выработали всеобъемлющую политику по отношению к малым БПЛА, может помочь вам в поиске законов, применимых в вашем регионе (различие между коммерческим и некоммерческим применением является основным фактором во всем мире, какой набор правил вы должны использовать).

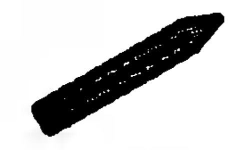
- Соединенные Штаты:
  - Federal Aviation Administration (FAA) **https://www.faa.gov/uas/**;
  - Academy of Model Aeronautics (AMA) **http://www.modelaircraft.org/**;
  - Know Before You Fly **http://knowbeforeyoufly.org/**;
- Канада:
  - Canadian Aviation Administration (CAA) **http://www.tc.gc.ca/**;
- Великобритания:
  - Civil Aviation Authority (CAA) **http://www.caa.co.uk/Commercial-Industry/Aircraft/Unmanned-aircraft/Unmanned-Aircraft/**;
- Австралия:
  - Civil Aniation Safety Authority (CASA) **https://www.casa.gov.au/**;
- Германия:
  - Luftfahrt-Bundesamt (LBA) **http://www.lba.de/DE/Home/home_node.html**.

11/Практическое применение

Полезные дроны

Малые БПЛА могут найти множество применений, если пользоваться ими ответственно и безопасно. Когда мы разговариваем с учениками, они всегда находят новые креативные применения этой технологии. Беспилотные аппараты могут быть полезны промышленности, людям и нашей планете в целом. Многие университеты предлагают обучение в области беспилотных летательных систем. Первым был университет Северной Дакоты, открывший эту программу в 2009 году, вторым стал Государственный университет Канзаса. На этот путь школы Северо-Запада натолкнула потребность в беспилотных летательных аппаратах для нужд сельского хозяйства.

Здесь мы рассмотрим те применения, которые считаем наиболее важными для БПЛА. Этот список — лишь начало перечня того, как дроны помогают сохранить время, деньги и жизни.



Существует международный конкурс "Drones for Good" ("Дроны во имя добра"), в рамках которого инженеры соревнуются в разработке беспилотных аппаратов, приносящих пользу нашей планете новым способом. Первый приз составляет 1 млн долларов.

Аэрофотосъемка

Желание создать фотографию с уникальным содержанием и перспективой — это сильный мотиватор, который многих привел в мир беспилотных летательных аппаратов (см. рис. 13 и 14 на

цв. вклейке). Легкие и надежные экшн-камеры играют ключевую роль в популяризации маленьких дронов. Возможность осматривать большие площади и получать четкое представление об окружающей среде привела дроны в киноиндустрию, спортивные трансляции и журналистику. Мы начали в 2010 году со сделанного руками Терри дрона, чтобы фотографировать пейзажи и архитектурные объекты.

Технологии камер и беспилотных аппаратов продолжают стремительно совершенствоваться. В настоящее время мы предпочитаем полеты с камерой стандарта Micro Four Thirds — по сути, это гибрид между "цифромыльницей" и полноразмерной зеркальной камерой. Камера должна иметь функцию дистанционного управления, которая позволит управлять камерой с земли. Другой способ состоит в настройке камеры на интервальную съемку, скажем, каждые 5 секунд. Мы установили, что команда из двух человек замечательно делает снимки. Пилот может сосредоточиться на управлении коптером, тогда как оператор камеры использует второй контроллер для подвеса и камеры. Монитор наземной станции позволяет вам видеть изображение с бортовой камеры и корректировать положение летательного аппарата для съемки окончательной композиции. Вернитесь к *главе 8* для более детальной информации о камерах для БПЛА.

Картография и топографическая съемка

Дроны зарекомендовали себя как эффективный инструмент, совершивший революцию в области геоинформационных систем (GIS, ГИС). Бортовое оборудование дронов может собирать разнообразные данные, используя камеры и датчики. В сочетании с наземными геопривязанными маркерами эти устройства позволяют создавать чрезвычайно точные цифровые карты с разрешением до 5 см на пиксел.

В беспилотной картографии задействованы два основных типа программного обеспечения. Первый тип — планирование миссий, второй — обработка данных. Дрон летает по траектории,

похожей на путь газонокосилки (см. рис. 15 на цв. вклейке). Существует несколько программ для планирования миссий, включая бесплатные приложения с открытым исходным кодом. В дрон загружается полное описание миссии по всей ее протяженности. Во время выполнения миссии камера направлена строго вниз и делает снимки с постоянным интервалом, формируя перекрывающиеся изображения с нахлестом до 60% "вперед-назад" и до 40% "вправо-влево". Когда цифровые данные собраны, они обрабатываются для удаления оптических искажений и склеивания отдельных изображений в одну "мозаику", состоящую из прямоугольных фрагментов. Касаемо навигационных программ, так же существует широкий выбор приложений обработки данных, от локальных приложений до облачных сервисов.

Точное земледелие

Новые технологии хорошо подходят для удовлетворения потребностей растущего населения в продуктах питания. В одних лишь Соединенных Штатах найдется около 2,2 млн фермерских хозяйств, для которых технология малых БПЛА будет чрезвычайно выгодна. Фермеры, агрономы и агросервисные службы знают об этом, и все эти люди в техническом плане намного более продвинутые, чем вы можете себе представить. Дроны гораздо дешевле и доступнее, чем обычные легкомоторные самолеты. БПЛА также могут намного быстрее и точнее решать задачи, ранее выполнявшиеся обычными самолетами. Вдобавок, поскольку фермы обычно располагаются в малонаселенной местности, проблемы приватности и безопасности при использовании дронов стоят менее остро.

Существуют две основные области применения, в которых БПЛА могут помочь фермерам. Прежде всего, это картографирование, в котором обычно применяются небольшие беспилотные самолеты с фиксированным крылом. Им требуется меньше энергии, чтобы долго находиться в воздухе. Объединяя данные с инфракрасных датчиков и накладывая их на файлы изображения, фермеры могут очертить границы полей, оценить состояние здоровья плантаций, идентифицировать больные растения и сорняки, из-

мерить урожайность и степень увлажнения почвы. Весь этот массив информации затем анализируется для принятия оптимальных агротехнических решений. Для каждого поля может быть составлена индивидуальная пропись внесения удобрений и пестицидов. Это вторая область применения БПЛА. Вертолеты или мультикоптеры могут нести полезную нагрузку для распыления различных веществ на растения ряд за рядом, строго туда, куда нужно.

Успешные программы точного земледелия запущены в Канаде, Бразилии и Швеции, но особо выдающихся результатов достигли в Японии. Министерство сельского хозяйства Японии наняло корпорацию Yamaha для разработки беспилотных агротехнических систем в 1983 году. Беспилотный вертолет Yamaha RMAX распыляет химикаты с 1991 года. Сегодня вертолеты RMAX опыляют 40% японских рисовых полей, приблизительно 2,5 млн акров. Они повысили урожайность на 30% при невероятно безупречной безопасности. Дроны действительно совершили революцию в сельском хозяйстве.

Поисково-спасательные работы

Дроны много раз помогали в успешном розыске потерявшихся людей, будь то стихийное бедствие, похищение или обычная потеря ориентиров. БПЛА, оснащенный камерой высокого разрешения или инфракрасным сенсором, может обследовать сотни акров буквально за минуты. Чтобы охватить такое же пространство наземными средствами, потребуются сотни волонтеров или несколько дней поисков. Начальный период с момента первого сообщения об исчезновении человека критически важен, и ранняя мобилизация всех доступных ресурсов позволяет сделать все возможное, чтобы найти его живым.

Вот несколько примеров команд, которые разработали или эффективно использовали дроны для поиска и спасения при минимальной стоимости и риске работ.

- Королевская конная полиция Канады нашла семью, которая несколько дней блуждала по лесу в районе озера Топсай (новая Шотландия).

- Береговая охрана Новой Зеландии использует свои дроны для поиска людей и судов, потерявшихся в море. Дрон Robolifeguard оснащен модулем для отпугивания акул.
- Дэвид Лэш, авиамоделист-любитель, нашел 82-летнего Жильермо ДеВенециа, который заблудился в соевом поле. После нескольких дней поисков обычными методами Лэш поднял свой дрон на высоту 200 футов и быстро нашел ДеВенециа.
- Техасская некоммерческая организация EquuSearch привлекла широкое общественное внимание к петиции о пересмотре в Апелляционном суде США предписания FAA о прекращении и дальнейшем запрете поисково-спасательных работ, направленного по электронной почте. Суд пришел к выводу, что письмо FAA "не было официальным запретительным предписанием, выражающим окончательное решение Агентства". Деятельность EquuSearch внесла вклад в розыск многих пропавших без вести людей.

Обследование инфраструктуры

Старение инфраструктуры и воздействие экстремальных погодных условий могут оказать разрушительное действие на объекты транспорта, коммуникаций и энергетики. Инспектирование объектов этих отраслей — вот где малые БПЛА демонстрируют множество преимуществ перед обычными пилотируемыми летательными аппаратами (см. рис. 16 на цв. вклейке). Дроны могут приближаться вплотную и проникать в труднодоступные места. Другое очевидное преимущество — безопасность. Подумайте о рабочих, которые должны карабкаться на высотные объекты либо использовать подъемники или краны, чтобы подняться снаружи на огромные мосты или небоскребы. Эти устаревшие методы просто опасны, занимают много времени и затратны. По цене одного пилотируемого полета компания может приобрести и использовать полную систему для аэрофотосъемки.

Удерживание БПЛА в точных координатах GPS плюс возможность вращать бортовую камеру по трем осям позволяют оператору достичь невероятно наглядного изображения любого участ-

ка объекта, который технические специалисты хотели бы рассмотреть в деталях. Прямая трансляция позволяет инспектору в режиме реального времени видеть то же самое, что "видит" дрон. Файлы видео высокого разрешения могут быть сохранены для последующего просмотра, оценки и выработки стратегии ремонта.

Дроны меняют правила игры при инспектировании множества различных объектов:

- мосты;
- линии электропередачи;
- вышки сотовой связи;
- здания;
- крыши;
- нефтепроводы и насосные станции;
- атомные электростанции;
- температурные карты зданий;
- очистные сооружения;
- ветрогенераторы;
- дымовые трубы;
- гидроэлектростанции;
- суда;
- массивы солнечных батарей;
- исторические монументы;
- железные дороги;
- автомагистрали (развязки, тоннели);
- крупное оборудование (краны, шагающие экскаваторы).

Экология

Биологи и климатологи в своих усилиях по сохранению нашей планеты и ее обитателей сталкиваются с различными трудными задачами. Они должны охватывать обширные и труднодоступные

местности. Планирование экспедиций дорого, трудоемко и отнимает много времени. Экологи гибнут, сталкиваясь с вооруженными браконьерами. За минувшие годы многие погибли, выполняя наблюдения в легкомоторных самолетах на предельно малой высоте полета. Имея столь насущные проблемы, ученые приветствовали выгоды от применения малых БПЛА, позволяющие эффективно вести работу. Скорость, безопасность, экономия времени и средств — это великолепно. Однако наибольшую выгоду можно извлечь из огромного количества данных в виде изображений высокого разрешения и показаний датчиков, которые раньше не применялись. Вероятно, дроны дарят экологам новую надежду.

12/Усовершенствуйте свой дрон

Поздравляем! Вы сделали это. Вы построили свой первый дрон и попутно усвоили много важных уроков. Мы надеемся, что хотя бы некоторые из этих уроков пригодятся вам в будущих экспериментах. Эта глава содержит несколько рекомендаций по усовершенствованиям, которые вы можете проделать сейчас, поскольку уже владеете мастерством строительства дронов.

Камера и оборудование FPV

Если вы использовали наш набор, то он поставляется без набора для FPV или камеры. Теперь, когда вы умеете без проблем строить летательные аппараты, самое время добавить оборудование для видеотрансляции, чтобы видеть изображение с точки зрения дрона в режиме реального времени. Чтобы добиться этого, вы должны установить видеопередатчик на летательный аппарат и видеоприемник с монитором на наземную станцию (рис. 12.1 и 12.2).

УСТАНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ FPV

Дрон Little Dipper, который мы приводим в этой книге в качестве примера, — это небольшой квадрокоптер класса 300, довольно маленький по сравнению с коптерами другой конструкции. По этой причине мы рекомендуем удалить другой компонент (не являющийся жизненно важным для полетов). Если вы установили все, о чем говорилось в этой книге, то получили изрядное количество электронного оборудования, смонтированного на вашем дроне. Для обеспечения наилучших летных характеристик, срока жизни батареи и стабильности полета следует избегать попыток разместить на раме чрезмерную нагрузку. Если вам остро необходимо оборудование FPV, значит, прежде всего, откажитесь от радиотелеметрии. Обсуждение установки и настройки оборудования FPV мо-

жет занять отдельную главу, что выходит за рамки данной книги. Тем не менее, если вас интересует эта тема и вы хотели бы узнать больше, загляните на страницу нашего сайта по адресу http://gettingstartedwithdrones.com/fpv/.

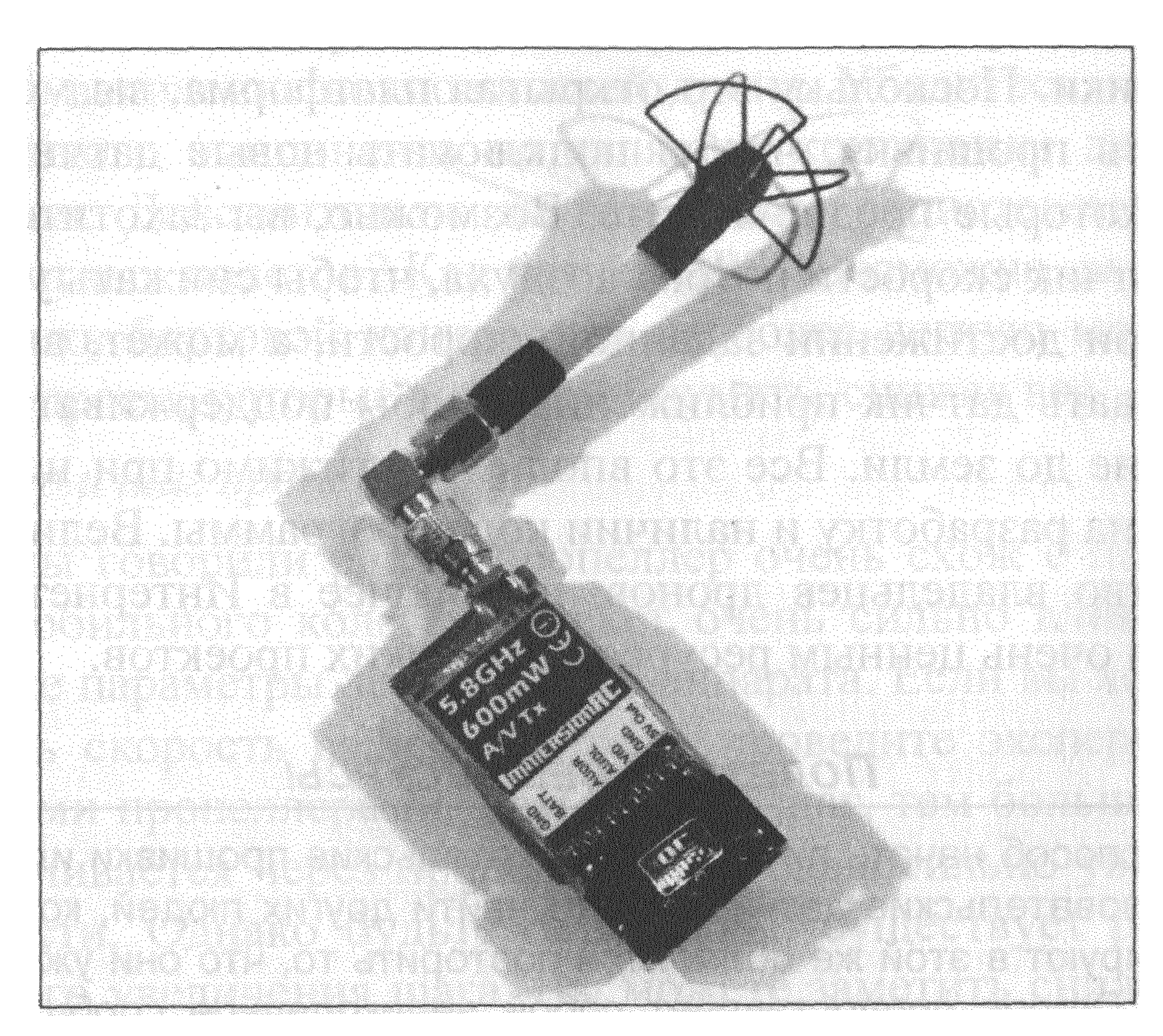


Рис. 12.1. Видеопередатчик на 5,8 ГГц с прямоугольным адаптером и компланарной антенной правого вращения

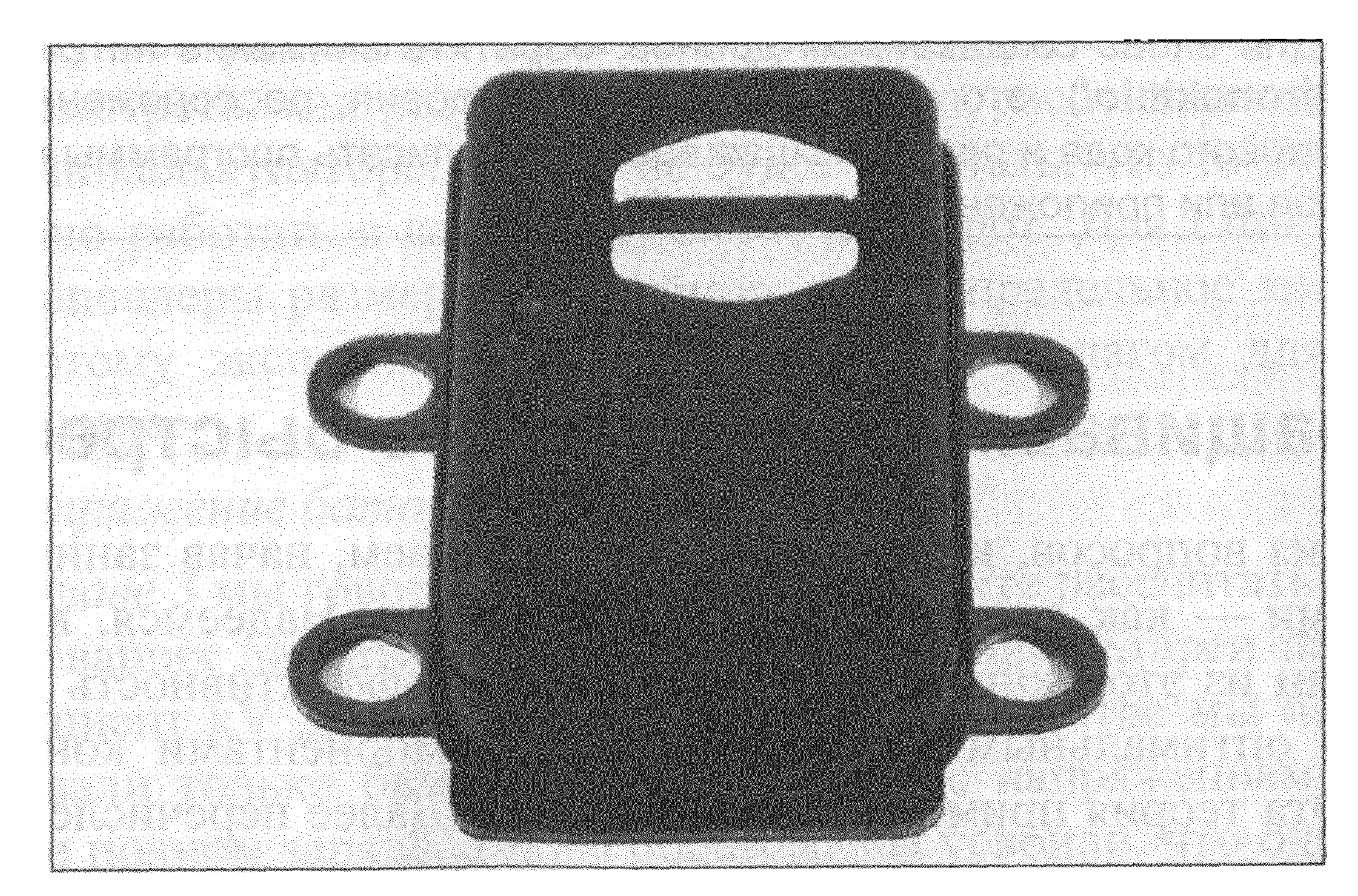


Рис. 12.2. Экшн-камера Mobius — великолепная опция для дрона размера Little Dipper — очень популярна благодаря малому весу и хорошим параметрам

Сбор данных при помощи дополнительных датчиков

Бортовой контроллер APM способен использовать дополнительные датчики. Поскольку это открытая платформа, вы можете даже менять прошивку, чтобы подключать новые датчики к тем входам, которые предпочитаете. Возможно, вы захотите использовать датчик скорости потока воздуха, чтобы снижать ускорение полета при достижении заданной скорости, а может, вы решите использовать датчик приближения, чтобы поддерживать нужное расстояние до земли. Все это вполне достижимо при небольших затратах на разработку и наличии кода программы. Великолепное сообщество владельцев дронов, возникшее в Интернете, может оказаться очень ценным ресурсом для таких проектов.

Полезные веб-ресурсы

Хороший способ начать писать пользовательские прошивки или подключать пользовательские датчики — это найти других людей, которые экспериментируют в этой же области, и повторить то, что они уже сделали. Сайт DIY Drones предоставляет собой великолепное сообщество для установления связей с другими разработчиками: **http://diydrones.com/**.

Если вас интересует написание пользовательских прошивок или приложений для вновь создаваемых дронов, обратите внимание на Drone Kit (**http://dronekit.io/**): это оболочка среднего уровня, расположенная поверх базового кода и позволяющая вам проще писать программы на языке Python или приложения под Android / iOS.

Наращиваем скорость: все быстрее!

Один из вопросов, который мы всегда задаем, начав заниматься дронами — как сделать их более быстрыми. Надеемся, вы уже усвоили из этой книги, что максимальная эффективность достигается оптимальным балансом между компонентами конструкции. Эта теория применима и к скорости. Далее перечислены основные параметры, на которые следует обратить внимание, стремясь увеличить скорость.

♦ *Вес.*

В любом устройстве, создаваемом для достижения скорости, вес — это первое, на что следует обратить внимание для получения высоких характеристик. Вы увидите, что любое решение, позволяющее удалить хоть несколько граммов, дает некоторое увеличение возможностей дрона. Убедитесь, что удаление некого компонента не является критичным для работы в целом. Действительно ли вам нужна радиотелеметрия для скоростных полетов? Как насчет GPS? Возможно, вы захотите заменить бортовой контроллер на более легкую модель. Всё это вопросы, которые следует обдумать, снижая вес.

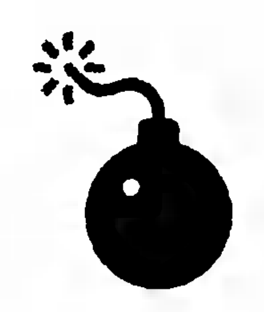
♦ *Размер и шаг пропеллеров.*

Как мы говорили ранее, пропеллер очень схож с покрышкой автомобильного колеса и может очень сильно влиять на реальные параметры летательного аппарата. Если вы хотите увеличить скорость вашего коптера, проведите эксперименты с разными пропеллерами. Чем больше шаг, тем больше воздуха прокачивается через пропеллер, что равносильно увеличению скорости. Однако будьте осторожны: существует риск чрезмерного увеличения шага. Вы можете заметить снижение стабильности коптера при некоторых условиях. Пропеллеры — это весьма недорогая часть устройства, поэтому обычно мы покупаем различные типы пропеллеров, чтобы варьировать их и смотреть, как результат отличается от рассчитанного в онлайн-калькуляторе. Что-то не будет работать, что-то будет хорошо работать в вашем случае, и наоборот. Для Little Dipper пропеллеры размером 6 дюймов — это предельное значение, поэтому экспериментируйте с различным шагом для этого размера.

♦ *Напряжение батареи.*

В *главе 3* мы говорили о том, как вы можете рассчитать обороты ваших двигателей, умножая напряжение батареи на коэффициент kV двигателя. В упомянутом равенстве мы подразумевали только батареи из трех ячеек, с напряжением 12,6 В при полном заряде. Таким образом, мы усвоили, что одна полностью заряженная ячейка дает напряжение 4,2 В. Единствен-

ное, о чем мы не говорили, — это другие возможные массивы ячеек. Что, если батарею из трех ячеек вы замените батареей из четырех ячеек? Теперь мы ведем речь о батарее с максимальным напряжением 16,8 В и максимальные обороты двигателя возрастают до 9660 оборотов в минуту! Это может иметь огромное значение при строительстве гоночного квадрокоптера!



УВЕЛИЧЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ БАТАРЕИ

Увеличение рабочего напряжения силовой батареи может повлиять на остальные компоненты. Тщательно удостоверьтесь, что все компоненты на линии питания будут правильно работать при планируемом напряжении. Регуляторы оборотов, двигатели и бортовой контроллер должны быть рассчитаны на нужное напряжение.

Возможно, выигрышной комбинацией будет использование менее емкой (и более легкой) батареи с увеличенным напряжением (для увеличения оборотов) в сочетании с пропеллерами меньшего размера (для более быстрого отклика), которые имеют больший шаг (для большей тяги). Эксперименты с этими тремя параметрами мы считаем увлекательной частью строительства квадрокоптеров.

Увеличение времени полета

Главное правило увеличения времени полета состоит в использовании более крупных пропеллеров с меньшим шагом. В случае с Little Dipper мы уже спроектировали его под пропеллеры 6 дюймов (предельный размер, который помещается на раму) со значениями шага 4,5 или 3. Здесь мало простора для доработки, но вы можете экспериментировать и смотреть, что происходит. Во время написания этой главы на рынке появились пропеллеры размера 6×2, ставшие хитом продаж. Они дают хорошую возможность увеличения времени полета. Разумеется, снижение веса тоже увеличивает время полета, поэтому на вес следует обращать внимание и в плане увеличения длительности полета.

Проблемы и решения

Наша финальная рекомендация в этой книге заключается в том, что чем дольше дроны находятся в вашей жизни, тем лучше вы справляетесь с ремонтом и решением проблем.

Устранение неполадок, влияющих на качество полета, является обычной частью жизни владельца небольшого беспилотного аппарата. Вы будете проводить тщательный предполетный осмотр перед каждым взлетом, чтобы минимизировать вероятность происшествий во время полета, но ремонты неизбежны. К счастью, вы не одиноки. Как упоминалось в *главе 1*, существует обширное высокоорганизованное онлайновое сообщество, в которое мы вам рекомендуем влиться.

Полезные и популярные форумы включают:

- DIY Drones (**http://diydrones.com/**) — это действительно великолепный ресурс, если вы используете компоненты APM;
- MultiRotorForums (**http://multirotorforums.com/**) — невероятный ресурс, наполненный как опытными пилотами, так и новичками;
- YouTube содержит огромное количество обучающих видеороликов по запросу "drone tutorial": **https://www.youtube.com/results?search_query=drone+tutorial**. Загляните на канал Flite Test (**https://www.youtube.com/user/flitetest**);
- производители компонентов также могут предоставлять много полезной информации. DJI (**http://www.dji.com/**) имеет великолепную печатную и онлайновую информацию;
- существует большое количество групп в Фейсбуке, ориентированных на отдельные разновидности конструкций рамы и производителей, включая прекрасную группу девушек-пилотов и разработчиков, именуемую Amelia Droneharts;
- Maker Media (**http://makermedia.com/**) имеет феноменальную подборку публикаций, включающих журнал "Make" и обширную серию книг "Getting Started";
- мы также приглашаем разместить фотографии ваших дронов в галерее нашего веб-сайта. Нам хотелось бы посмотреть, как

вы воспользовались идеями и концепциями из нашей книги и продвинулись вперед. Присылайте фотографии на адрес входящей электронной почты **userbuilds@gettingstartedwithdrones.com**.

Спасибо!

Говоря о сетевом сообществе любителей дронов, мы хотим поблагодарить всех из DIYDrones.com и MultiRotorForums.com, кто был достаточно щедр, чтобы делиться с нами каждой крупицей знаний на протяжении более чем шести последних лет.

Мы должны поблагодарить группу наших соотечественников из Балтимора, начинавших вместе с нами. Они никогда не жалели времени и знаний для поддержки наших усилий. Они поддерживали в нас оптимизм при неуверенных шатких взлетах и жестких посадках.

Мы благодарны вам: Брайан Краус (Brian Kraus), Крис Мени (Chris Meaney), Том Минник (Tom Minnick), Ян Уолкок (Ian Wollcock), Дэвис Бересфорд (Beresford Davis) и Эллиот Гринвальд (Elliot Greenwald).

Наконец, множество теплых слов благодарности тебе, читатель, который потратил время, деньги и усилия, чтобы бросить себе вызов и начать строительство дронов. Надеемся увидеть ваши конструкции в галерее снимков! Мы желаем вам долгих лет развития и счастливых полетов!

Предметный указатель

T

U

W



X



Y



А

Б

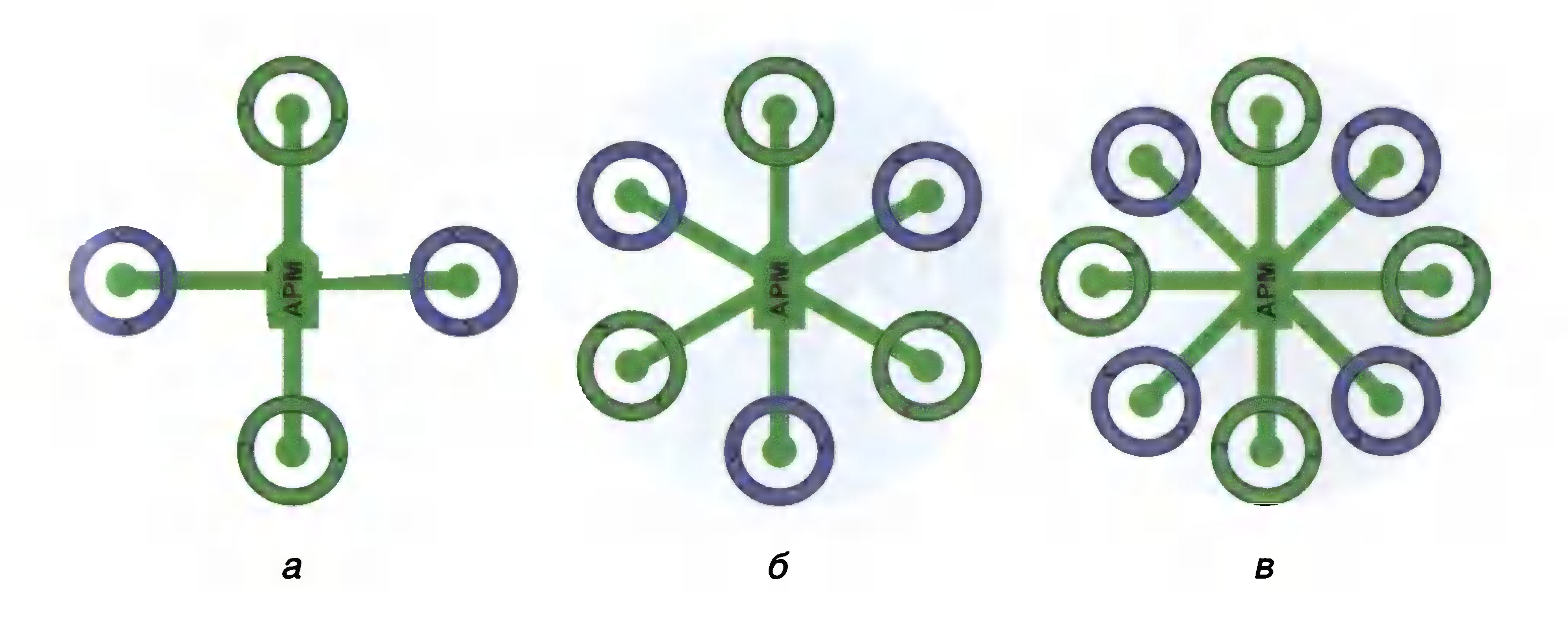
В

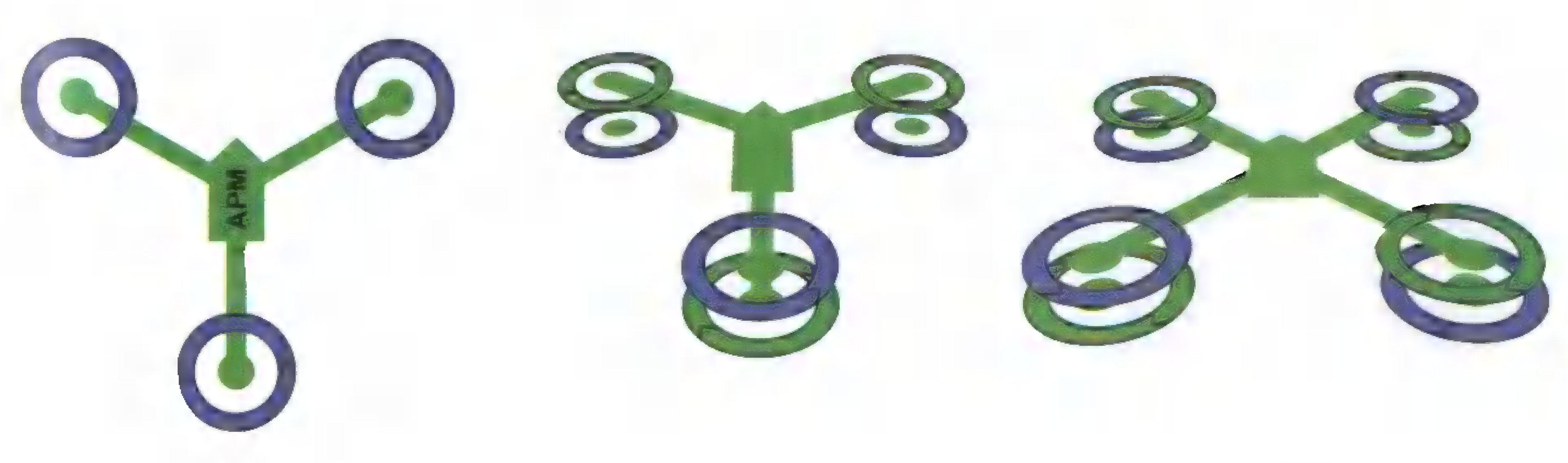
Г

Д

К

Рис. 1. Guff — модель самолета братьев Гуд





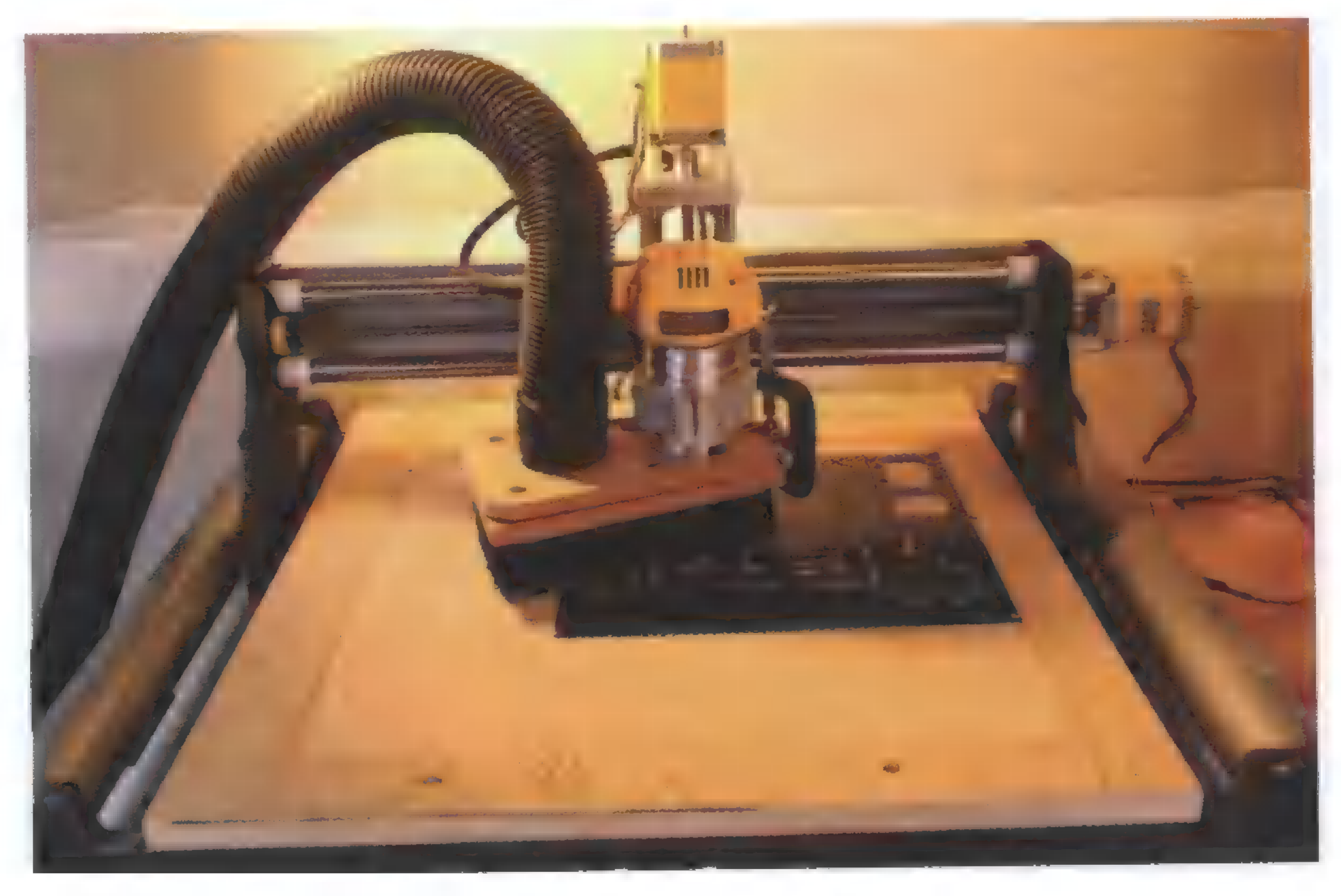


Рис. 3. Изготовление деталей из стеклотекстолита G-10 на станке с ЧПУ



Рис. 4. QAV250 в сборе, с карбоновыми пропеллерами размера 5×3



Рис. 5. Качественно сбалансированный пропеллер должен оставаться неподвижным в любом положении, не опускаясь в ту или иную сторону

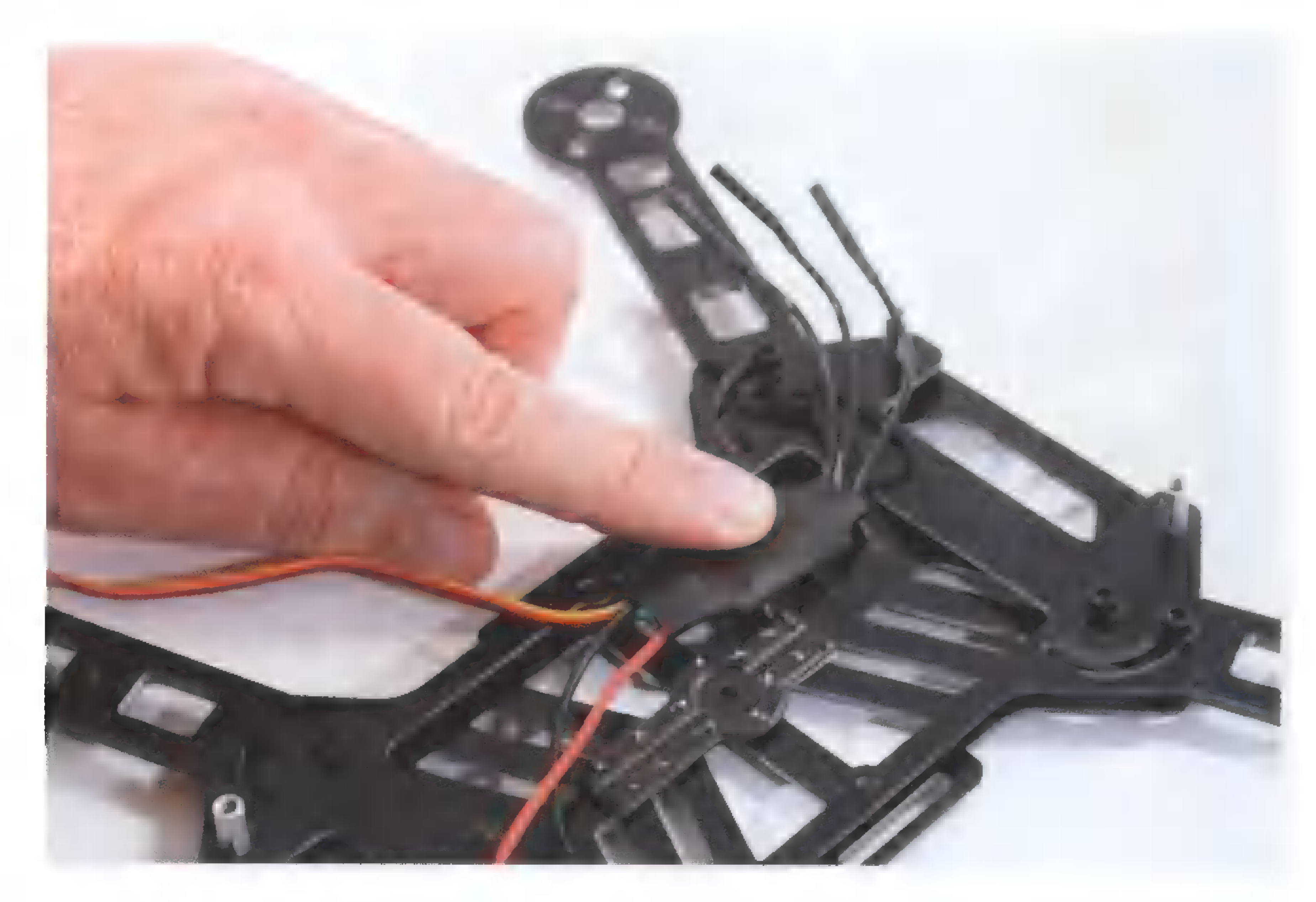


Рис. 6. Приложите регулятор на место и плотно прижмите

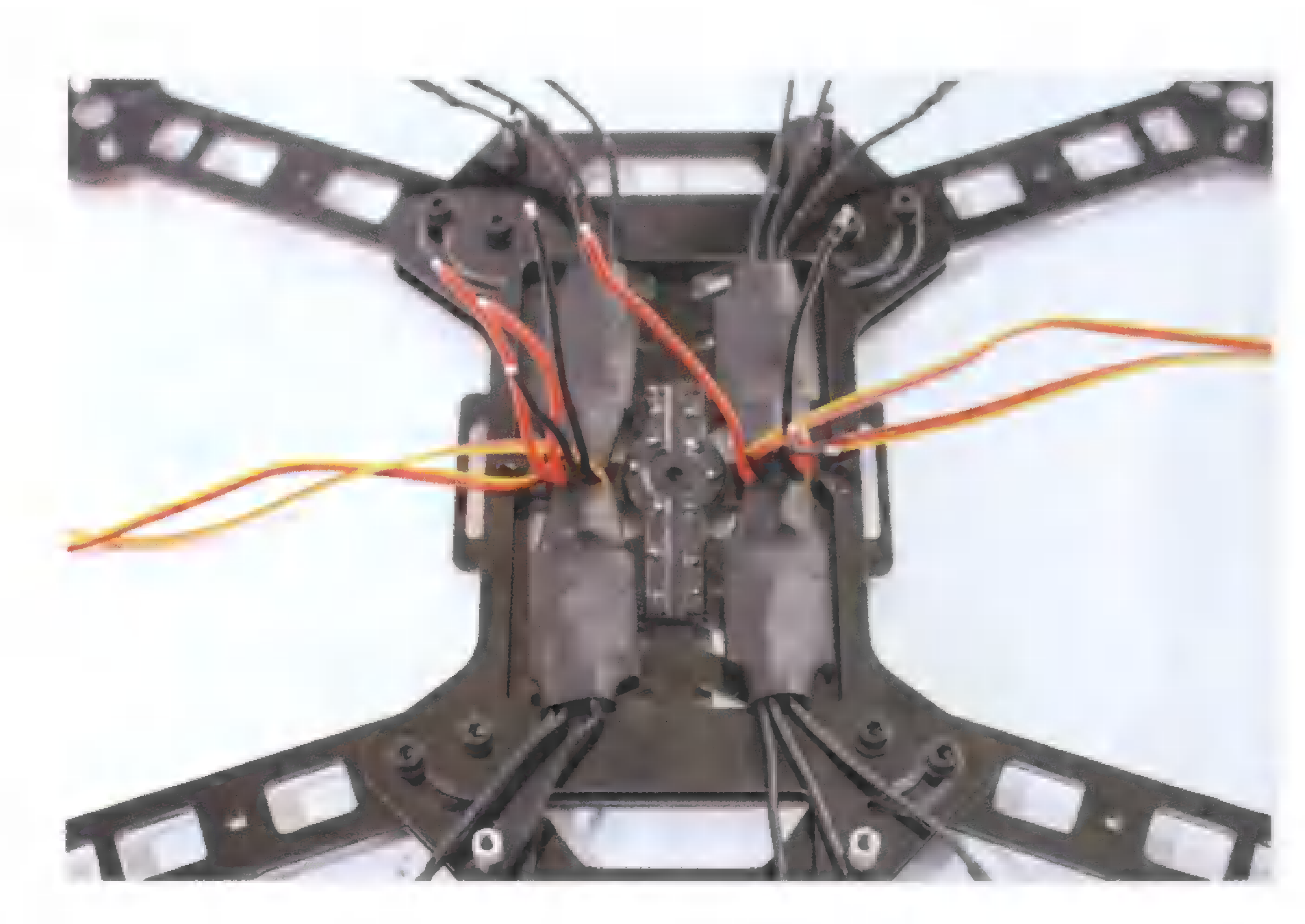


Рис. 7. Когда все регуляторы размещены, результат должен выглядеть так, как на рисунке

Рис. 8. Приложение Tower Flight Controller, запущенное на планшете с Android

Рис. 9. Каждому двигателю соответствует свой выход и направление вращения; контроллер APM на фотографии и на условной схеме направлен одинаково

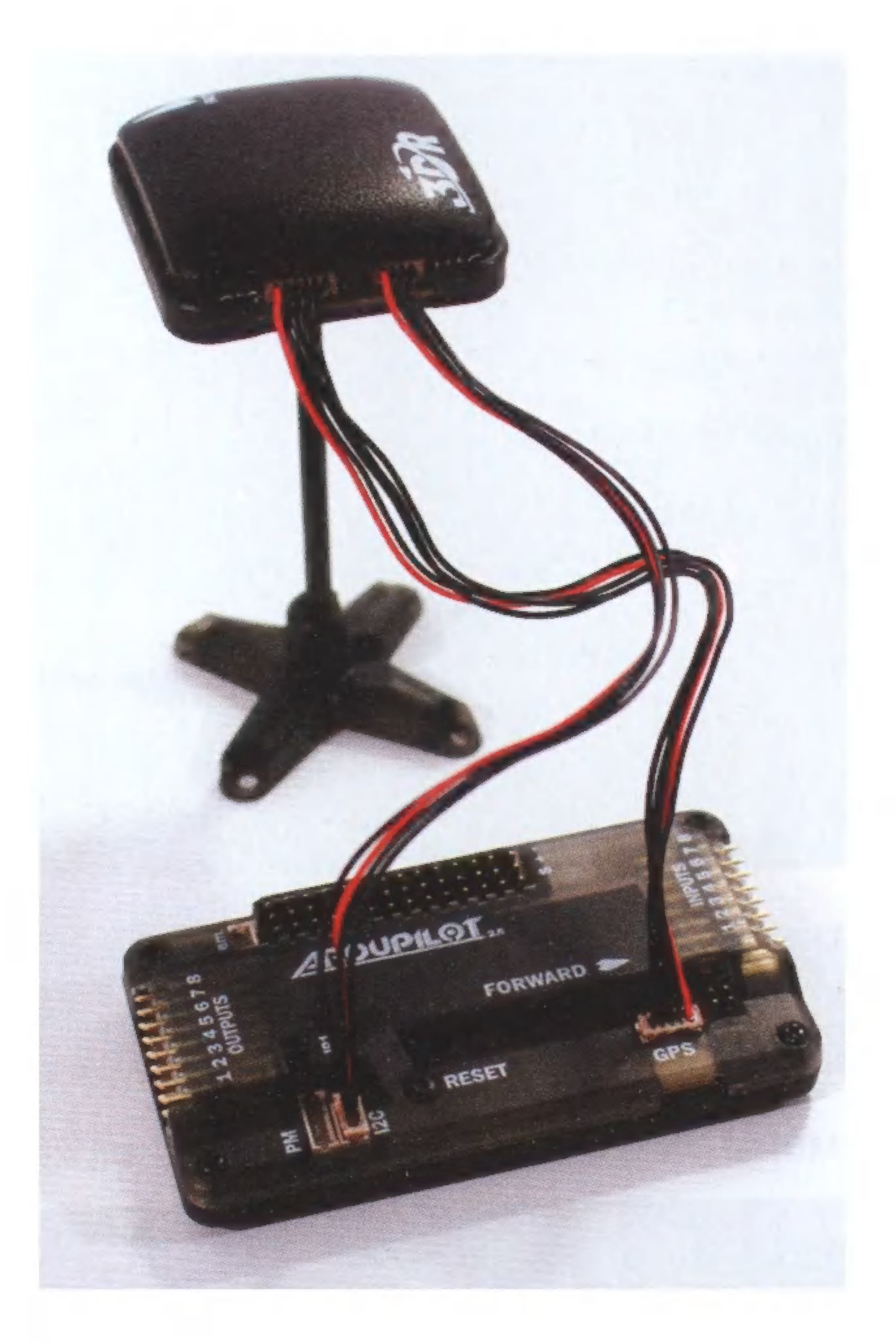


Рис. 10. GPS и компас (магнитометр) подключены к APM

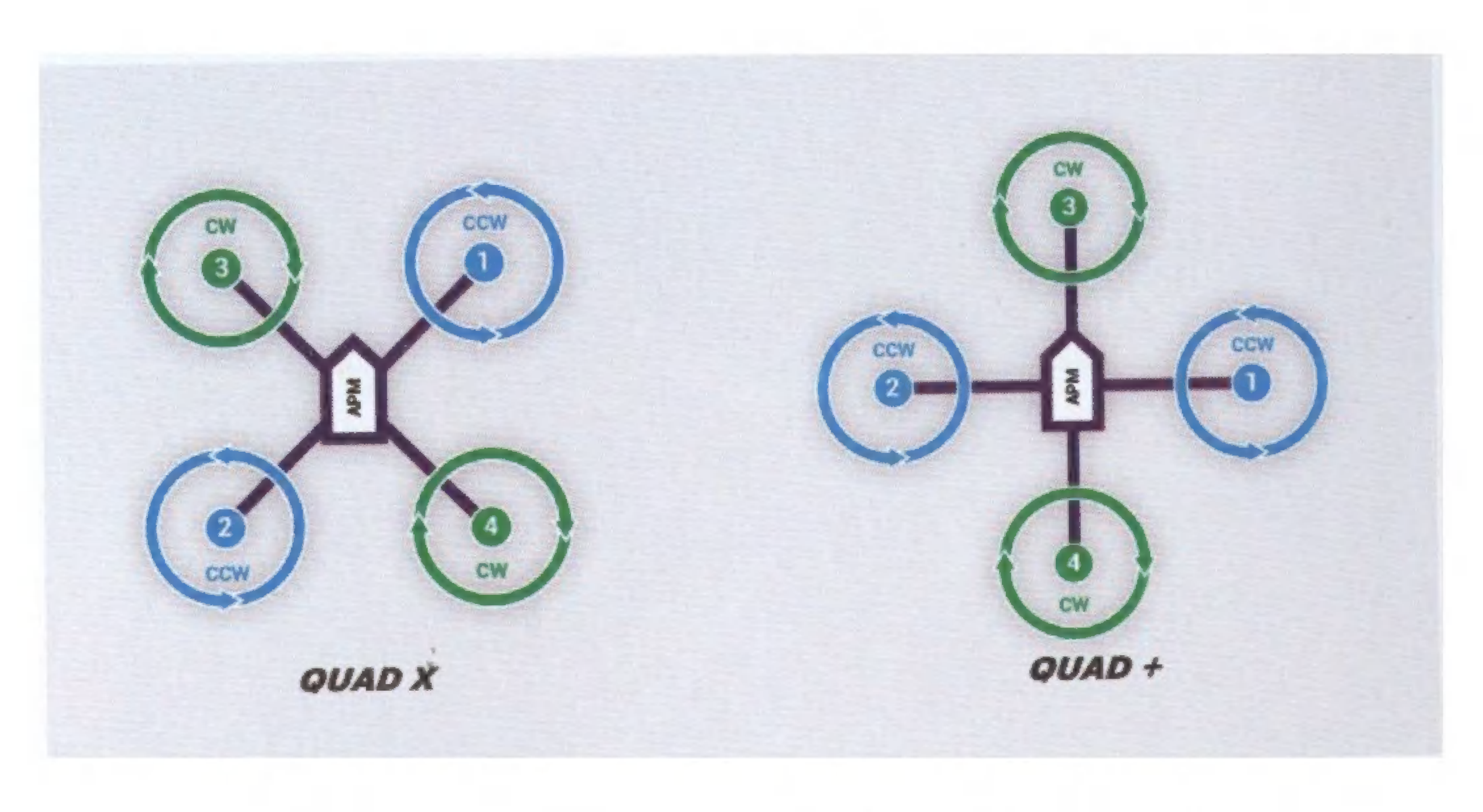


Рис. 11. Два основных типа рам квадрокоптеров



Рис. 12. Всегда имейте зону безопасности вокруг места взлета и посадки

Рис. 13. Монумент имени Фрэнсиса Скотта в Балтиморе, штат Мэриленд. Снимок сделан камерой Sony NAX-5n

Рис. 14. Карнавал пожарной службы в Балтиморе. Снимок сделан камерой Canon S95



Рис. 15. Белые линии показывают картографическую траекторию дрона, напоминающую движение газонокосилки



Рис. 16. Взаимный снимок «воздух–воздух»: инспекторский дрон с камерой, направленной прямо вверх; дрон X8 пилотирует Брисфорд Дэвис, снимок сделал Терри Килби